

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Propuesta de Aplicación de Sistemas de Eficiencia Energética en
Planta de Producción de Tricolor S.A.**

Por

Loreto Verónica Durán Morales

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de
la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía María Lorena Álvarez Sánchez

Noviembre, 2014

Agradecimientos

Cuando terminas de redactar tu tesis y sientes que todo está terminado te das cuenta que no es así, ya que falta algo no menos importante y es el agradecer a tantas personas que estuvieron a tu lado durante esta etapa.

Es por eso que por medio de las próximas líneas pretendo expresar mis sinceros agradecimientos a quienes me han acompañado durante el desarrollo de mi trabajo de título, a todos y cada una de ellos, puesto me es necesario expresar que quien hubiese tenido contacto conmigo durante este proceso merece un agradecimiento de mi parte, por eso gracias a mi familia, a mi pareja, a mis amigos y compañeros quienes más de una vez escucharon mis lamentos, alegrías o explicaciones de lo que hacía, gracias por contribuir a que haya finalizado esta etapa universitaria.

En primer lugar como no agradecer a mi familia: Mamá, Papá, Tías (os), Hermanos, Primas (os) y Cuñada, gracias por su apoyo y ayuda, por estar ahí siempre, en cada una de las etapas de mi vida y haberme enseñado todo lo que soy. También como no agradecer a mis tres bellas sobrinas ya que gracias a una sonrisa suya tienes toda la fuerza y ánimo para seguir adelante. Agradezco a mi pareja, Rodrigo gracias por estar a mi lado, por apoyarme, por escucharme, por ser mi compañero, amigo y confidente, pero sobre todo gracias por ser quien estuvo a mi lado todos los días y empujarme a seguir adelante y no darme por vencida. También agradezco a mis amigas (os) y compañeros (os) de trabajo, gracias por estar ahí, apoyarme escucharme y darme sus bellos consejos.

Agradezco a la empresa Tricolor S.A., en especial a Don Claudio Reinoso y la Sra. Christianne Bustos por su gran ayuda y orientación durante todo este proceso, gracias por su confianza y consejos. Además de esto como no agradecer a sus grandiosos trabajadores, quienes me brindaron su valioso tiempo y conocimiento, pero principalmente gracias por su preocupación.

Agradezco a la Escuela de Ingeniería Civil Industrial, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso, junto a sus excelentes académicos y funcionarios, por haberme acompañado en estos años de estudio y haberme otorgado las herramientas y valores necesarios para desempeñarme como un profesional íntegro y competente. En especial agradezco a mi profesora guía Lorena Alvarez, por su tiempo, apoyo y sabios consejos durante el desarrollo de mi trabajo de titulación.

Gracias a todos.

“Hay en el mundo un lenguaje que todos comprenden: es el lenguaje del entusiasmo, de las cosas hechas con amor y con voluntad, en busca de aquello que se desea o en lo que se cree.”... (Paulo Coelho)

Dedicatorias

A mi Familia...

A Rodrigo...

Resumen

“Propuesta de Aplicación de Sistemas de Eficiencia Energética en Planta de Producción de Tricolor S.A.”

El presente trabajo de titulación se enmarcó en el contexto de la eficiencia energética (en lo adelante EE), que es definida como “el conjunto de actividades destinadas a lograr objetivos de producción, empleando la menor cantidad de energía posible” [GTPML05]. En respuesta al panorama energético mundial, que ha presentado constantes alzas en los precios de la energía eléctrica y combustibles, los gobiernos e industrias han impulsado medidas que podría mejorar la EE a largo plazo, con el fin de asegurar el suministro energético, la eficiencia y competitividad de sus economías nacionales de manera de disminuir sus consumos energéticos siendo responsables con el medio ambiente, dando el primer paso en el camino hacia un desarrollo sustentable.

Apoyando dichas iniciativas, se realizó un levantamiento de los procesos de cada una de las plantas productivas existentes en Tricolor S.A., identificando para cada una de estas ellas los tipos de energía utilizada, los equipos que intervenían en sus procesos productivos, los consumos de energía asociada a cada uno de los equipos, sus datos de fabricación, tiempos de funcionamiento (diarios, mensuales y anuales), programas de mantenimiento existente al momento del estudio, entre otra información que se consideró relevante.

Sin embargo, debido a la antigüedad de muchos de los equipos utilizados en la empresa, no fue posible conseguir los datos de fabricación de manera directa con el levantamiento de procesos, por lo que se debió realizar una revisión de actas y documentos facilitados por el departamento de mantención, finalizando con una búsqueda por medios electrónicos de los manuales e información de placa de los equipos faltantes.

Este levantamiento de procesos se realizó con el fin de obtener información que permitiese identificar posibles focos de ahorros energéticos según el tipo de energía utilizada en cada una de las plantas productivas. Finalizado el levantamiento, se decidió enfocarse en la búsqueda de oportunidades para la implementación de medidas de uso eficiente de la energía eléctrica en la planta de pinturas líquidas (en lo adelante PPL) de Tricolor S.A., ya que según los datos de consumos energéticos anuales de las plantas productivas, un 62% de éstos correspondían a electricidad, siendo la PPL la mayor consumidora, con un 45% de los consumos anuales, seguida con un 34% por la planta de pinturas en polvo (en lo adelante PPP).

En este punto cabe señalar que se optó por la PPL, ya que presentaba el ambiente propicio para la búsqueda de alternativas para implementar sistemas de

eficiencia energética, dada la inexistencia de buenas prácticas en el uso de este recurso y la antigüedad de sus maquinarias.

Una vez seleccionada la planta, se identificaron los equipos que presentaban los mayores consumos eléctricos y que funcionaban con constantes malas prácticas operacionales, optando por determinar los ahorros del sector motor y del sector iluminación de la PPL.

La búsqueda de alternativas para la posibilidad de elevar la EE en la PPL, se centró en dos vías fundamentales:

- Buscar una mejor gestión energética y buenas prácticas de consumo.
- Instalar tecnología y equipos más eficientes.

Al investigar sobre ambas alternativas, se llegó a la conclusión de que el buscar una mejor gestión energética y buenas prácticas de consumo podía tener un menor costo de implementación para la empresa, pero los ahorros que se podrían obtener eran menores, siendo difíciles de conseguir y/o mantener, ya que para poder implementarse se debían intervenir hábitos de consumos que en la organización se venían practicando desde hace años.

El instalar tecnología y equipos más eficientes, en cambio, requería de inversiones más altas, pero aseguraban una mayor permanencia de los ahorros que se podrían obtener y que a su vez podían ser más significativos que la primera vía. Si bien ambas opciones, por si solas, permitirían la reducción del consumo específico de energía en la PPL, se optó por trabajar ambas a la par para así obtener mayores ahorros.

Una vez se individualizaron y se determinaron los ahorros asociados a cada una de las propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética, se procedió a una evaluación financiera de las mismas expuestas a distintos escenarios. Al revisar los resultados financieros obtenidos para cada una de las propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética en la PPL de Tricolor S.A., evaluadas en base a los escenarios planteados y enfrentadas a otras variables, como lo fueron el caso que en la empresa se aumentasen a dos los turnos de trabajo, además de posibles aumentos o disminuciones en los precios de la energía eléctrica, se concluyó que se debía recomendar la aplicación de la propuesta de reemplazo de los motores eléctricos por unos más eficientes, ya que fue la que presentó una mejor evaluación financiera en cada uno de los casos a la que fue puesta a prueba, dando una rentabilidad superior al costo de capital planteado por Tricolor S.A.

En la siguiente tabla se presentan los indicadores financieros obtenidos, considerandos aumentos en los precios de la energía eléctrica, para cada una de las propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética en la planta de

producción de Tricolor S.A., en donde se puede observar que inclusive en un escenario pesimista las propuesta de reemplazo de motores en la PPL era rentable para la empresa.

		Aumento de un 5,38% anual		Aumento de un 10,76% anual	
	Punto de vista	VAN	TIR	VAN	TIR
Propuesta de reemplazo de motores en la PPL	Optimista	\$ 98.857.161	34,57%	\$ 149.778.484	39,02%
	Pesimista	\$ 55.618.925	35%	\$ 83.408.241	39,31%
	Normal	\$ 72.601.454	34,05%	\$ 110.180.374	38,46%
Propuesta de automatización motores PPL	Punto de vista	VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 1.148.317	18,62%	\$ 2.160.277	23,09%
	Pesimista	-\$ 1.334.580	3,00%	-\$ 833.896	6,91%
	Normal	-\$ 347.977	9,82%	\$ 355.867	13,99%
Propuesta de reemplazo lámparas de la PPL	Punto de vista	VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 65.979.430	41,46%	\$ 79.596.034	43,39%
	Pesimista	-\$ 21.179.700	0,18%	-\$ 18.670.391	2,52%
	Normal	\$ 21.459.791	21,28%	\$ 28.729.369	23,24%
Propuesta de automatización del sistema de iluminación de la PPL	Punto de vista	VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 8.120.226	48,16%	\$ 10.640.542	53,11%
	Pesimista	-\$ 1.706	11,99%	\$ 838.400	16,22%
	Normal	\$ 4.040.452	31,47%	\$ 5.720.663	36,18%

Si en Tricolor S.A. se optase por implementar la propuesta recomendada, sus consumos de energía podrían disminuir anualmente entre un 11,97% a un 21,92%, tomando como base el consumo que presentaba la PPL al momento del estudio, con inversiones por concepto de la compra de los motores eléctricos más los costos de instalación, que iban desde los MM\$ 37 hasta los MM\$ 66 aproximadamente. Además de esto, al aplicar esta propuesta la empresa podría disminuir sus emisiones de CO₂ asociadas a sus consumos eléctricos, entre un 5,42 a un 9,82% tomando como base las emisiones calculas con los datos facilitados por Tricolor S.A. al momento del estudio.

Si bien la empresa puede comercializar estas reducciones, también es importante destacar que tal situación la beneficiaría en una posible utilización de estas disminuciones para plantear una estrategia de marketing.

Índice

Agradecimientos	i
Dedicatorias	ii
Resumen.....	iii
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tablas	xv
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Justificación del problema	5
1.3. Objetivos	7
2. Antecedentes de la empresa	8
2.1. Descripción de actividades.....	8
2.2. Reseña histórica	9
2.3. Análisis de la situación actual	10
3. Planta seleccionada	12
3.1. Elaboración pinturas líquidas.....	13
3.2. Planta pinturas líquidas.....	16
3.2.1. Planta 1.....	16
3.2.2. Planta 2.....	19
3.2.3. Planta TIP.....	21
3.2.4. Planta 3.....	22
3.2.5. Planta 4.....	24
3.2.6. Planta 5.....	25
3.2.7. Planta 6.....	26
3.2.8. Planta 7.....	27
3.2.9. Planta 8.....	29

4. Marco teórico	31
4.1. Producción limpia.....	31
4.2. Eficiencia energética y PML.....	32
4.3. Motores eléctricos	34
4.3.1. Componentes de un motor eléctrico	35
4.3.2. Tipos de motores	36
4.3.3. Motor de inducción trifásico.....	38
4.3.4. Eficiencia de un motor eléctrico	38
4.3.5. Métodos para estimar la eficiencia de un motor eléctrico	39
4.3.6. Método de la potencia de entrada	43
4.3.7. Eficiencia de un motor eléctrico en condiciones reales de operación	45
4.4. Iluminación.....	49
4.4.1. Conceptos básicos.....	50
4.4.2. Fuentes de luz	54
4.4.3. Equipos auxiliares para iluminación.....	61
4.4.4. Sistemas de regulación de iluminación.....	61
4.4.5. Iluminación eficiente.....	62
4.4.6. Métodos de cálculo de iluminación	62
4.4.7. Aplicación del método de los lúmenes para iluminación en interiores	63
4.4.8. DS N° 594.....	67
5. Estudio de la situación actual	68
5.1. Sector motor	68
5.1.1. Determinación eficiencia operacional de los motores	69
5.1.2. Determinación ahorros por reemplazo de motores.....	78
5.1.3. Análisis malas prácticas operacionales en el uso de los motores	83
5.1.4. Determinación ahorros por mejoras en prácticas operacionales en el uso de los motores.....	85
5.2. Sector iluminación.....	86
5.2.1. Evaluación del sistema de iluminación en el interior de la PPL.....	86
5.2.2. Análisis malas prácticas operacionales presentes en el sistema de iluminación de la PPL.....	95

5.2.3. Alternativas de ahorro de energía en el sistema de iluminación en el interior de la PPL.....	95
5.2.4. Determinación ahorros en el sistema de iluminación en el interior de la PPL....	107
6. Propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética.....	114
6.1. Cambios propuestos para el sector motor	114
6.2. Ahorros por modificaciones propuestas para el sector motor	115
6.3. Cambios propuestos para el sector iluminación.....	117
6.4. Ahorros por modificaciones propuestas para el sector iluminación	118
7. Evaluación Financiera.....	120
7.1. Evaluación financiera propuesta de reemplazo de motores eléctricos en la PPL. .	121
7.2. Evaluación financiera propuesta de automatización de los motores asociados a malas prácticas en la PPL.	124
7.3. Evaluación financiera propuesta de reemplazo de las lámparas utilizadas en la PPL al momento del estudio por unas más eficientes.....	126
7.4. Evaluación financiera propuesta de automatización del sistema de iluminación de la PPL.	129
8. Resultados y conclusiones	135
9. Bibliografía	139
10. Anexos.....	142
Anexo 1. Determinación disminuciones de emisiones de dióxido de carbono.....	142
Anexo 2. Tablas para cálculo de reflectancias efectivas de las cavidades.....	145
Anexo 3. Protocolo medición sector motor.....	148
Anexo 4. Tablas datos nominales de operación motores seleccionados de la PPL.....	150
Anexo 5. Tablas datos tiempos operacionales motores seleccionados de la PPL.	152
Anexo 6. Hoja recolección mediciones.	154
Anexo 7. Tabla resultados mediciones eléctricas motores seleccionados de la PPL. ...	155
Anexo 8. Tabla ecuaciones curva FC v/s FP motores seleccionados de la PPL.	157
Anexo 9. Tabla FP operacionales estimados motores seleccionados de la PPL.	158

Anexo 10. Tablas potencias medidas motores seleccionados de la PPL.	159
Anexo 11. Tablas carga operacional motores seleccionados de la PPL.....	161
Anexo 12. Procedimiento obtención tablas normalizadas para distintas velocidades y estándares de eficiencias.....	163
Anexo 13. Procedimiento obtención eficiencia según la carga a la que opera el motor.....	167
Anexo 14. Tablas factores de corrección y eficiencia estimada de funcionamiento motores seleccionados de la PPL.	170
Anexo 15. Tablas eficiencia de alternativas de reemplazo motores seleccionados de la PPL.....	172
Anexo 16. Tablas reducción de demanda por reemplazo motores seleccionados en la PPL.....	174
Anexo 17. Tablas energía ahorrada anualmente por reemplazo motores seleccionados de la PPL.	176
Anexo 18. Tablas ahorros anuales por reemplazo motores seleccionados de la PPL. ...	178
Anexo 19. Tablas ahorros anuales por mejoras en prácticas operacionales motores PPL.....	180
Anexo 20. Tablas para cálculo de coeficiente de utilización luminarias en uso PPL.	186
Anexo 21. Tablas para cálculo de coeficiente de utilización luminarias y lámparas LEDs.....	188
Anexo 22. Tablas valor adquisición motores de eficiencia mejorada y alta eficiencia..	190
Anexo 23. Tablas periodo de recuperación simple de las inversiones para alternativas de reemplazo motores PPL.	192
Anexo 24. Tablas ahorros anuales conjunto de motores seleccionados para reemplazo.....	194
Anexo 25. Tablas ahorros anuales al automatizar el funcionamiento de los motores seleccionados.....	197
Anexo 26. Obtención ahorros en mantención al reemplazar los motores de la PPL	203
Anexo 27. Tablas ahorros en mantención al reemplazar los motores de la PPL.....	206

Lista de Abreviaturas y Siglas

CER = Certificados de reducción de emisiones.

CO₂ = Dióxido de carbono.

EE = Eficiencia energética.

IE1 = Eficiencia estándar

IE2 = Eficiencia mejorada

IE3 = Alta eficiencia

GEI = Gases de efecto invernadero.

FC = Factor de carga

FC1 = Factor de corrección por variaciones de tensión.

FC2 = Factor de corrección por trabajar a una carga distinta de la nominal.

FC3 = factor de corrección por desbalances de voltaje.

FC4 = Factor de corrección por deterioros en rebobinados.

FC4-0 = Factor de corrección en el caso que el equipo no haya tenido rebobinados.

FC4-1 = Factor de corrección en el caso que el equipo presentase un rebobinado.

FC4-2 = Factor de corrección en el caso que el equipo presentase dos rebobinados.

FP = Factor de potencia.

CC = Laboratorio de Control de Calidad.

OCDE = Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

OP = Orden de Producción.

PML = Producción más Limpia.

PPL = Planta Pinturas Líquidas.

PPP = Planta Pinturas en Polvo.

PPR = Planta Producción Resinas.

PPUV = Planta Pinturas UV.

RPM = Revoluciones por minutos.

SIC = Sistema Interconectado Central.

SING = Sistema Interconectado Norte Grande.

TIR = Tasa interna de retorno.

VAN = Valor actual neto.

Lista de Figuras

Figura 1.1. Evolución del consumo eléctrico nacional (2000-2012), fuente [Indexmundi13].....	2
Figura 1.2. Evolución del precio energía y potencia nominal de la energía eléctrica SIC (2000-2012), fuente [SIE13].	3
Figura 1.3. Gráfico de consumo v/s producción en el tiempo de planta de pinturas líquidas (2008-2010), elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento de Tricolor S.A.	5
Figura 1.4. Evolución indicador consumo-producción de Tricolor S.A., elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento de Tricolor S.A.	6
Figura 1.5. Principales aspectos que caracterizan el bajo nivel de gestión de la energía, elaboración propia en base a la información recolectada en la planta.....	6
Figura 2.1. Composición ventas de Tricolor S.A. en el año 2011, elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.	8
Figura 2.2. Estructura de la propiedad accionaria de Tricolor S.A. a Diciembre 2011, fuente estimaciones Fitch 2011.	10
Figura 2.3. Distribución del consumo anual de energía (2008-2010), elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.	11
Figura 2.4. Distribución del consumo eléctrico según planta productiva, elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.....	11
Figura 3.1. Diagrama de Pareto de los principales consumidores de energía eléctrica de la planta productiva de Tricolor S.A., elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento.	12
Figura 3.2. Evolución mensual de los consumos eléctricos de la PPL (2008-2010), elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento de Tricolor S.A.	13
Figura 3.3. Esquema general de procesos elaboración pinturas líquidas, elaboración propia.	14
Figura 3.4.a. Esquema procesos de fabricación pinturas en planta 1, elaboración propia.	17
Figura 3.4.b. Esquema procesos de fabricación pinturas en planta 1, elaboración propia.	17
Figura 3.5. Esquema procesos de fabricación pinturas en planta 2, elaboración propia.	20
Figura 3.6. Esquema procesos de fabricación pinturas en planta TIP, elaboración propia.	22

Figura 3.7.a. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 3, elaboración propia..	23
Figura 3.7.b. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 3, elaboración propia..	23
Figura 3.8. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 4, elaboración propia.....	25
Figura 3.9. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 5, elaboración propia.....	25
Figura 3.10. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 6, elaboración propia...	26
Figura 3.11.a. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 7, elaboración propia.	27
Figura 3.11.b. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 7, elaboración propia.	28
Figura 3.12. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 8, elaboración propia...	30
Figura 4.1. Motor eléctrico, fuente MDM Webcast (2011).	34
Figura 4.2. Despiece de un motor eléctrico, fuente cuaderno técnico Schneider Electric.	35
Figura 4.3. Clasificación motores eléctricos según el tipo de corriente utilizada para su alimentación, fuente catálogo motores WEG.....	36
Figura 4.4. Curvas eficiencia motores eléctricos a distintos niveles de carga, fuente catálogo WEG.....	44
Figura 4.5. Curva factor de ajuste de la eficiencia con respecto a su variación de voltaje, fuente manual técnico de motores eléctricos del Programa de Eficiencia Energética Regional en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica (PEER).....	46
Figura 4.6. Curva factor de ajuste de la eficiencia con respecto a desbalances de voltaje, fuente manual técnico de motores eléctricos PEER.	47
Figura 4.7. Curva factor de ajuste de la eficiencia según su número de rebobinados, fuente manual técnico de motores eléctricos PEER.	48
Figura 4.8. Curva factor de ajuste de la eficiencia según su número de rebobinados, fuente manual técnico de motores eléctricos PEER.	49
Figura 4.9. Clasificación del espectro visible, fuente www.energyefficiencyasia.org	50
Figura 4.10. Clasificación general de las fuentes luminosas, elaboración propia.	54
Figura 4.11. Lámpara incandescente, fuente c.eléctricos.	55
Figura 4.12. Lámpara fluorescente, fuente c.eléctricos.	56
Figura 4.13. Lámpara de Mercurio, fuente c.eléctricos.....	57
Figura 4.14. Lámpara de aditivos metálicos, fuente c.eléctricos.....	58
Figura 4.15. Lámpara de sodio de alta presión, fuente c.eléctricos.	59
Figura 4.16. Lámpara de sodio de baja presión, fuente c.eléctricos.	59
Figura 4.17. LEDs, fuente c.eléctricos.	60

Figura 5.1. Gráfico de posibles ahorros anuales por concepto de consumo de energía en PPL por reemplazo motores actuales, elaboración propia.....	81
Figura 5.2. Gráfico de posibles ahorros anuales en la planta de pinturas líquidas por reemplazo de motores actuales, elaboración propia.	83
Figura 5.3. Distribución del consumo de energía eléctrica según equipos de la PPL, elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento de Tricolor S.A.	84
Figura 5.4. Gráfico de ahorros anuales en consumos de energía por control tiempos muertos operacionales en la planta de pinturas líquidas, elaboración propia.....	85
Figura 7.1. Gráfico VAN y TIR, en base a un escenario pesimista, de la propuesta de reemplazo motores eléctricos en la PPL, elaboración propia.	134

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Tabla de tipos de energía utilizada en la planta productiva.	10
Tabla 3.1.a. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 1.....	18
Tabla 3.1.b. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 1.....	19
Tabla 3.2. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 2.....	20
Tabla 3.3. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 3.....	24
Tabla 3.4. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 6.....	26
Tabla 3.5.a. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 7.....	28
Tabla 3.5.b. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 7.....	29
Tabla 4.1. Tabla velocidad en motores eléctricos en función de su número de polos ...	38
Tabla 4.2. Ventajas y desventajas de los métodos para estimar la eficiencia de un motor eléctrico.....	42
Tabla 4.3. Tabla clasificación de la apariencia del color según su temperatura	53
Tabla 4.4. Tabla clasificación del IRC según su grado y apariencia.....	53
Tabla 4.5.a. Tabla valores típicos de las reflectancia con luz blanca.....	64
Tabla 4.5.b. Tabla valores típicos de las reflectancia con luz blanca.....	65
Tabla 4.6.a. Tabla factores de mantenimiento para iluminación en interiores	65
Tabla 4.6.b. Tabla factores de mantenimiento para iluminación en interiores	66
Tabla 4.7. Tabla valor mínimo de la iluminación promedio según lugar o faena de trabajo.....	67
Tabla 5.1.a. Tabla motores seleccionados determinación eficiencia operacional.	70
Tabla 5.1.b. Tabla motores seleccionados determinación eficiencia operacional.	71
Tabla 5.2. Tabla datos nominales del motor eléctrico asociado al PH3.	71
Tabla 5.3. Tabla tiempo operacional motor del PH3.	72
Tabla 5.4. Tabla resultados obtenidos tras las mediciones eléctricas al motor del PH3.	73
Tabla 5.5. Tabla estimación del FP de operación del motor asociado al PH3.	74
Tabla 5.6. Tabla para el cálculo valor de la potencia medida del motor asociado al PH3.	74
Tabla 5.7. Tabla cálculo carga operacional del motor asociado al PH3.....	75
Tabla 5.8. Tabla eficiencia del motor asociado al PH3, según curva normalizada	76
Tabla 5.9. Tabla factores de corrección y eficiencia estimada de funcionamiento del motor asociado al PH-3.....	77

Tabla 5.10. Tabla eficiencias operacionales alternativas de reemplazo del motor actual, según curva IE2 y IE3.....	77
Tabla 5.11. Tabla reducciones de demanda que se obtendrían al reemplazar el motor de uso actual, al momento del estudio en el PH3, por uno de eficiencia mejorada o de alta eficiencia.	79
Tabla 5.12. Tabla energía ahorrada anualmente al reemplazar el motor actual del PH3 por uno de eficiencia mejorada o de alta eficiencia.....	80
Tabla 5.13. Tabla ahorro anual al reemplazar el motor actual del PH-3 por uno de eficiencia mejorada o de alta eficiencia.....	82
Tabla 5.14. Tabla relaciones de las cavidades de los locales analizados en la PPL.....	87
Tabla 5.15. Tabla reflectancias efectivas de las cavidades de los locales analizados en la PPL.....	88
Tabla 5.16. Tabla factor de utilización de las lámparas de locales analizados en la PPL.	89
Tabla 5.17. Tabla flujos luminosos de las lámparas instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.	90
Tabla 5.18.a. Tabla cantidades de lámparas, según su potencia, instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.....	90
Tabla 5.18.b. Tabla cantidades de lámparas, según su potencia, instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.....	91
Tabla 5.19.a. Tabla flujos luminosos totales de las lámparas instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.....	91
Tabla 5.19.b. Tabla flujos luminosos totales de las lámparas instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.....	92
Tabla 5.20.a. Tabla superficies plantas evaluadas al momento del estudio en la PPL.	92
Tabla 5.20.b. Tabla superficies plantas evaluadas al momento del estudio en la PPL.....	93
Tabla 5.21. Tabla nivel Iluminación media actual al momento del estudio en la PPL.....	94
Tabla 5.22. Tabla demanda actual de las lámparas utilizadas al momento del estudio en la PPL.....	96
Tabla 5.23. Tabla demanda teórica de las lámparas que debiesen ser utilizadas en la PPL.....	96
Tabla 5.24. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL.	97
Tabla 5.25. Tabla iluminación media teórica de la PPL.....	97
Tabla 5.26.a. Tabla cantidad de lámparas a instalar e iluminación media teórica obtenida al interior de la PPL luego de pintar las paredes y techos de la planta.....	98
Tabla 5.26.b. Tabla cantidad de lámparas a instalar e iluminación media teórica obtenida al interior de la PPL luego de pintar las paredes y techos de la planta.....	99

Tabla 5.27. Tabla demanda teórica de las lámparas a instalar en la PPL luego de pintar las paredes y techos.	100
Tabla 5.28. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL luego de pintar las paredes y techos.	100
Tabla 5.29. Tabla demanda teórica de las lámparas utilizadas en la PPL al pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	101
Tabla 5.30.a. Tabla cantidad de lámparas a instalar e iluminación media teórica de la PPL al pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	101
Tabla 5.30.b. Tabla cantidad de lámparas a instalar e iluminación media teórica de la PPL al pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	102
Tabla 5.31. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL al pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	102
Tabla 5.32. Tabla iluminación media teórica de la PPL al cambiar las luminarias por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	103
Tabla 5.33. Tabla demanda teórica de la PPL al cambiar las luminarias por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	104
Tabla 5.34. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL al cambiar las luminarias por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	104
Tabla 5.35.a. Tabla iluminación media teórica de la PPL al reemplazar las lámparas por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	105
Tabla 5.35.b. Tabla iluminación media teórica de la PPL al reemplazar las lámparas por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	106
Tabla 5.36. Tabla demanda teórica de la PPL al reemplazar las lámparas por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	106
Tabla 5.37. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL al reemplazar las lámparas por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.	107

Tabla 5.38. Tabla de supuestos de tiempo funcionamiento de lámparas de la PPL.	108
Tabla 5.39.a. Tabla ahorros anuales al pintar los techos y paredes de la PPL para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.	109
Tabla 5.39.b. Tabla ahorros anuales al pintar los techos y paredes de la PPL para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.	109
Tabla 5.40.a. Tabla ahorros anuales al pintar las paredes y techos conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies de la PPL, para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.	110
Tabla 5.40.b. Tabla ahorros anuales al pintar las paredes y techos conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies de la PPL, para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.	110
Tabla 5.41.a. Tabla ahorros anuales al cambiar las luminarias por LEDs en la PPL, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies, para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.	111
Tabla 5.41.b. Tabla ahorros anuales al cambiar las luminarias por LEDs en la PPL, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies, para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.	111
Tabla 5.42.a. Tabla ahorros anuales al reemplazar las lámparas por LEDs en la PPL, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies, para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.	112
Tabla 5.42.b. Tabla ahorros anuales al reemplazar las lámparas por LEDs en la PPL, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies, para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.	112
Tabla 5.43. Tabla ahorros anuales al reducir las horas de funcionamiento del sistema de iluminación en la PPL.	113
Tabla 6.1. Tabla periodos de recuperación simple de la inversión asociada al cambiar el motor eléctrico del PH3 por uno de eficiencia mejorada o de alta eficiencia.	114
Tabla 6.2. Tabla ahorros e inversión de los motores propuestos a cambiar.	116
Tabla 6.3. Tabla ahorros y costos al automatizar el funcionamiento de los estanques de terminación.	116
Tabla 6.4.a. Tabla ahorro y costo por modificación del sistema de iluminación, para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.	118
Tabla 6.4.b. Tabla ahorro y costo por modificación del sistema de iluminación, para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.	119

Tabla 7.1. Tabla escenarios de riesgo para evaluación financiera de cada una de las propuestas de eficiencia energéticas para la PPL.....	120
Tabla 7.2. Tabla ahorros anuales en energía, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.....	121
Tabla 7.3.a. Tabla ahorros anuales por costos de mantención, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.....	122
Tabla 7.3.b. Tabla ahorros anuales por costos de mantención, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.....	122
Tabla 7.4. Tabla depreciación, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.....	123
Tabla 7.5. Tabla de total inversión, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.	123
Tabla 7.6. Tabla índices rentabilidad financiera de la propuesta de reemplazar los motores de la PPL.....	124
Tabla 7.7. Tabla ahorros anuales en energía, en base a tres escenarios, por automatizar el conjunto de motores seleccionados en la PPL.....	124
Tabla 7.8. Tabla índices rentabilidad financiera de la propuesta de automatizar los motores de la PPL.....	125
Tabla 7.9. Tabla ahorros anuales en energía, en base a tres escenarios, por reemplazar las lámparas utilizadas en la PPL al momento del estudio por unas más eficientes.....	126
Tabla 7.10. Tabla ahorros por costos de lámparas de repuesto, en base a tres escenarios, por reemplazar las lámparas utilizadas en la PPL al momento del estudio por unas más eficientes.	127
Tabla 7.11. Tabla depreciación, en base a tres escenarios, por reemplazar las lámparas utilizadas en la PPL al momento del estudio por unas más eficientes.	128
Tabla 7.12. Tabla índices rentabilidad financiera de la propuesta de reemplazo de lámparas en la PPL.	128
Tabla 7.13. Tabla ahorros anuales en energía, en base a tres escenarios, por automatizar el sistema de iluminación de la PPL.....	129
Tabla 7.14. Tabla índices rentabilidad financiera de la propuesta de automatizar el sistema de iluminación de la PPL.	130
Tabla 7.15.a. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, frente a un aumento anual de los precios de la electricidad..	131
Tabla 7.15.b. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, frente a un aumento anual de los precios de la electricidad..	131

Tabla 7.16.a. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, frente a una disminución anual de los precios de la electricidad.	132
Tabla 7.16.b. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, frente a una disminución anual de los precios de la electricidad.	132
Tabla 7.17. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, por trabajar a dos turnos.	133
Tabla 10.1. Tabla disminución de emisiones de CO ₂ al aplicar la propuesta de reemplazo de los motores eléctricos en la PPL.....	144
Tabla 10.2. Tabla coeficientes de interpolación para establecer los límites de eficiencia operacional, en motores eléctricos, para distintos valores de potencia.....	163
Tabla 10.3.a. Tabla probabilidad de falla, desde el año 1 al 4, para un motor antiguo y nuevo.....	204
Tabla 10.3.b. Tabla probabilidad de falla, desde el año 1 al 4, para un motor antiguo y nuevo.....	204
Tabla 10.4.a. Tabla costos de mantención, desde el año 1 al 4, para un rango de potencia de 0.5-4 kW.	204
Tabla 10.4.b. Tabla costos de mantención, desde el año 5 al 8, para un rango de potencia de 0.5-4 kW.	205
Tabla 10.4.c. Tabla costos de mantención, desde el año 1 al 4, para un rango de potencia de 4-11 kW.	205
Tabla 10.4.d. Tabla costos de mantención, desde el año 5 al 8, para un rango de potencia de 4-11 kW.	205
Tabla 10.4.e. Tabla costos de mantención, desde el año 1 al 4, para un rango de potencia de 11-O MkW.	205
Tabla 10.4.f. Tabla costos de mantención, desde el año 5 al 8, para un rango de potencia de 11-o más kW.	205

1. Introducción

Un aspecto central en las actuales discusiones, a nivel mundial, sobre el desarrollo económico es la creciente demanda de energía de las maquinarias productivas industriales y las secuelas ambientales que pueden provocar. Tal situación ha enfrentado a las naciones con el desafío de contar con recursos energéticos suficientes y competitivos para lograr el anhelado desarrollo, sin considerar en la mayoría de los casos, una adecuada protección del medio ambiente y de los recursos, que muy ciertamente podría comprometer el crecimiento de esta economía, puesto que un uso indiscriminado de los recursos energéticos tiene altos costos en el sistema eléctrico de una nación afectando tanto la seguridad como la estabilidad en su suministro [CEPAL09₁].

Es por esto que en el mundo, las políticas de EE cada vez han tomado más relevancia, enfocadas en reducir la demanda de energía, aumentando los niveles de producción, sin elevar su consumo, o disminuyendo la energía utilizada en los procesos de fabricación.

Según *Internacional Energy Outlook 2011* en el año 2010 la generación mundial neta de electricidad aumento alrededor de un 84%, si bien la recesión económica 2008-2009 desacelero el crecimiento del uso de la electricidad en el año 2008 y dio lugar a mínimos cambios en el 2009, la demanda volvió a aumentar en el año siguiente, liderada principalmente por una fuerte recuperación de las economías que no pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (en lo adelante OCDE).

En general, se ha estado vinculado el mayor consumo de recursos energéticos a un mayor crecimiento económico de los países, llegándose a estimar que los que se encuentran en desarrollo tendrán un incremento promedio de un 4% de su consumo anual de energía comparada a un 1,2% que presentaran los ya desarrollados [EIA11].

Es por esta razón que se ha señalado inequívocamente que el uso eficiente de la energía no es una opción válida para países en vías de desarrollo, ya que se piensa que éstos sólo deben buscar aumentos en la productividad lo que les permitirá mejorar sus niveles de vida, pensamiento que ha ido evolucionando en el tiempo puesto que un uso eficiente de la energía no consiste en racionalizarla, ni reducir los servicios que esta puede prestar, sino que está enfocado en un mejor uso de esta, inclusive se puede evidenciar que los aumentos de producción y la reducción del consumo de energía por unidad en un mismo proceso pueden ser trabajados a la par.

En el caso de Chile, actualmente se enfrenta al reto de contar con recursos energéticos suficientes y competitivos, puesto la matriz eléctrica chilena está dominada por combustibles fósiles, no renovables y sucios (desde el punto de vista de liberación

de emisiones de CO₂ a la atmósfera), tales como el petróleo, el carbón mineral y el gas natural, a lo que se suman grandes represas de generación hidroeléctrica.

Al año 2012 los principales sistemas eléctricos en Chile son el Sistema Interconectado Norte Grande (en lo adelante SING) que cubre las regiones de Arica, Iquique y Antofagasta, con el 23,7 % de la capacidad instalada del país, y cuya generación está dominada en un 100% por centrales termoeléctricas. El Sistema Interconectado Central (en lo adelante SIC), que cubre desde Taltal (al sur de Antofagasta) hasta Chiloé y representa el 75,2% de la capacidad instalada del país, siendo su composición de un 50% generación térmica, 47% hidroeléctrica y solo 3% de energías renovables no convencionales.

Además de éstos, existen dos sistemas interconectados más pequeños en Aysén y Magallanes, los cuales dependen en un 47% y 100%, respectivamente, de combustibles fósiles [CNE12].

En los últimos años, Chile ha presentado un gran aumento en sus consumos energéticos, presentando su mayor incremento en la energía eléctrica (ver figura 1.1). El conflicto que se presenta ante tal situación, es que el sistema de generación nacional no está dando a basto para cubrir las necesidades del país.

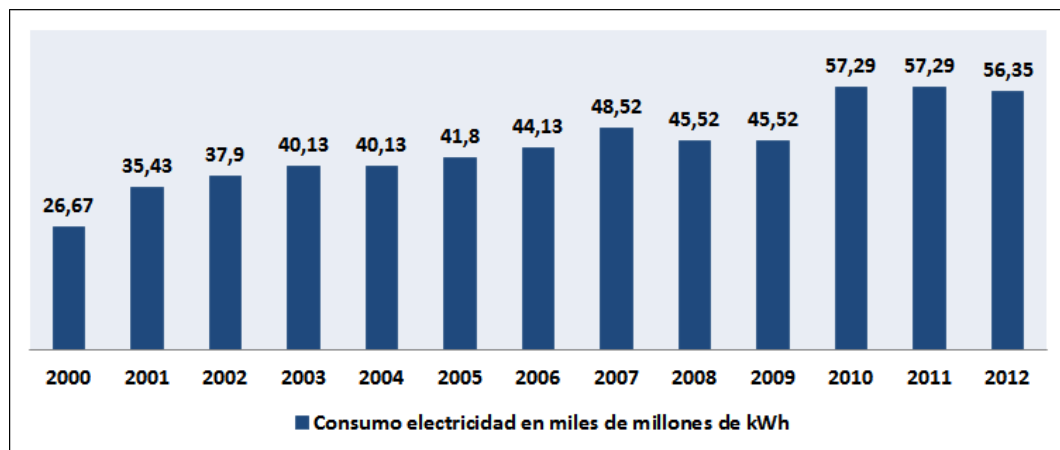


Figura 1.1. Evolución del consumo eléctrico nacional (2000-2012), fuente [Indexmundi13].

Chile principalmente importa sus recursos energéticos, lo que hace que el país sea muy dependiente del mercado internacional de los combustibles, sometiéndolo a una gran vulnerabilidad energética, puesto la presencia predominante de insumos importados presenta riesgos de suministros y posibles alzas de precios productos de la volatilidad de los valores de los combustibles a nivel internacional.

Tal situación, somete al país a una pérdida de competitividad de muchos sectores productivos y altos costos de energía eléctrica. De hecho, ésta dependencia ha provocado aumentos en los costos de generación de energía eléctrica, lo que ha llevado a que Chile presente uno de los más altos de América Latina.

En la figura 1.2. se encuentra representada la evolución del precio de energía y potencia nominal del período comprendido entre 2000-2012, ambos valores son utilizados para determinar el precio de nudo definido para todas las subestaciones de generación-transporte desde la cual se efectúa un suministro de electricidad y este a su vez es utilizado para fijar el precio final que las empresas distribuidoras pueden cobrar a sus usuarios finales ubicados en su zona de comercialización.

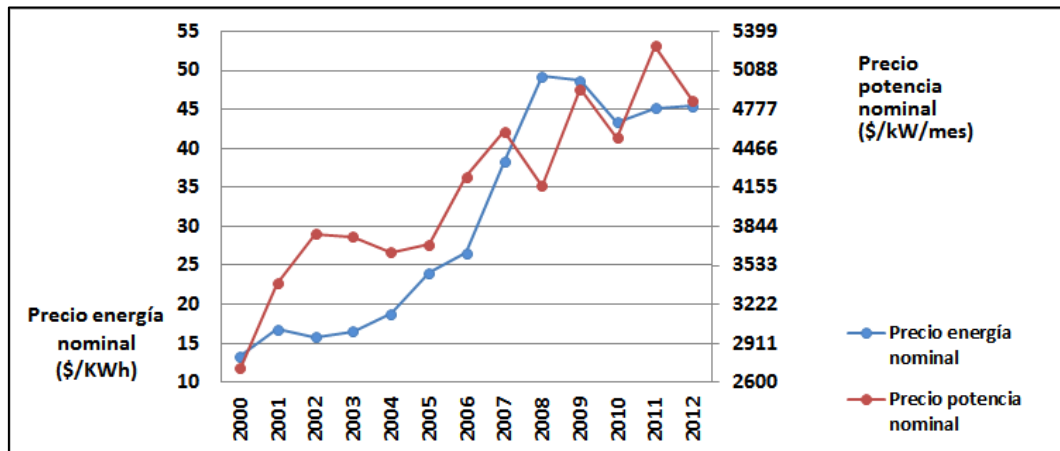


Figura 1.2. Evolución del precio energía y potencia nominal de la energía eléctrica SIC (2000-2012), fuente [SIE13].

La elaboración de pinturas pertenece al sector químico de las industrias. Presenta una amplia gama de productos entre los que destacan las pinturas base agua o solvente, barnices, lacas y esmaltes. En el año 2011 el mercado chileno de pinturas comercializo alrededor de 67.000 toneladas de pinturas. Dentro de sus principales insumos se encuentra la energía que ciertamente genera costos significativos en sus operaciones, motivo por el cual se está poniendo énfasis en la búsqueda de mejoras en su utilización para cada uno de sus procesos productivos.

A nivel mundial existen casos de éxito en proyectos de ahorro energético en estas industrias, los cuales demuestran que con un adecuado manejo de la energía en los procesos de elaboración de pinturas se pueden generar diversos beneficios para esta industria, llegando en ciertos casos a obtener reducciones cercanas al 15% de su consumo anual [FIDE2008].

En Chile no existe mucha información con respecto a proyectos de EE en el sector de las pinturas, pero si se encuentra en etapa de ejecución la creación de un protocolo para el desarrollo y promoción de la EE en la industria química que busca la realización de actividades que permitan favorecer el desarrollo de actividades y prácticas que conduzcan al uso eficiente de la energía.

El uso eficiente de la energía es un tema pendiente de investigación en Tricolor S.A., por lo mismo en el presente trabajo se pretende identificar mejoras en el uso de la energía de la empresa.

1.1. Planteamiento del problema

El panorama energético, tanto a nivel mundial como nacional, ha llevado a las empresas a comprometerse con un mejor uso de la energía en sus procesos de producción, para así garantizar su competitividad, cumpliendo con los requisitos de sus clientes y generando la menor contaminación ambiental. A la par con esta tendencia empresarial y debido a los constantes aumentos en los costos de energía, Tricolor S.A. se ha propuesto buscar alternativas que le permitan disminuir el consumo actual de este recurso.

Para el logro de tal objetivo lo ideal es que se implemente un programa para la racionalización y gestión energética en la empresa. Sin embargo, para su implementación es necesaria la definición de una estrategia sobre el uso de la energía, pero al día de hoy esto no es posible ya que no cuentan con un registro, procesamiento y análisis detallado de la información de sus consumos energéticos.

Si bien en Tricolor S.A. se han hecho seguimientos de sus consumos de energía eléctrica y combustibles, estos han sido por determinados períodos, poco extensos en su gran mayoría y además sus registros no han sido llevados a información efectiva que permita identificar ineficiencias energéticas en la planta, por lo que se consideran incompletos.

De acuerdo a las características de operación de este tipo de industria y la información recolectada en planta, se han podido identificar preliminarmente malas prácticas en el uso de la energía, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Las maquinarias utilizadas presentan una baja eficiencia, debido a su antigüedad, problemas de dimensionamiento y escaso monitoreo de sus condiciones de operación.
- Inexistencia de un programa de mantención preventivo, ya que para minimizar sobreconsumos energéticos se debe monitorear el desempeño de los equipos a fin de detectar tempranamente fallas en su operación.

- Malas prácticas operacionales, ya que es común ver equipos funcionando innecesariamente.

1.2. Justificación del problema

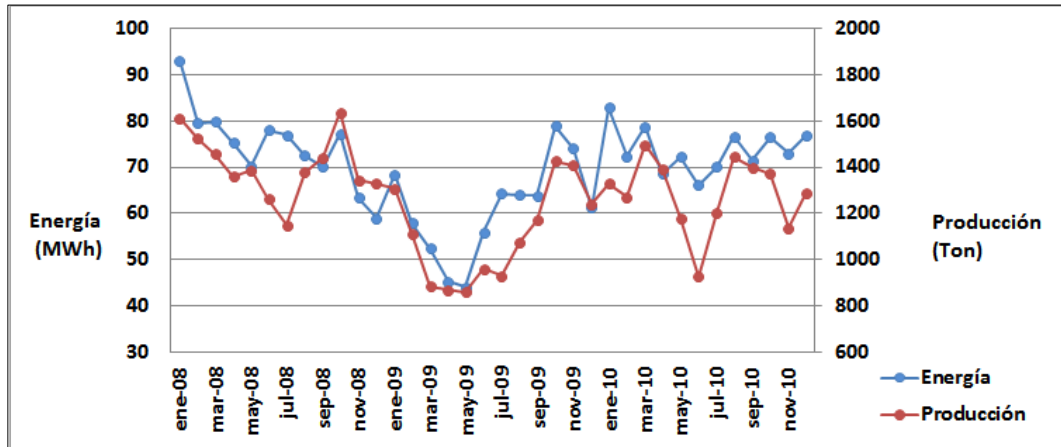


Figura 1.3. Gráfico de consumo v/s producción en el tiempo de planta de pinturas líquidas (2008-2010), elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento de Tricolor S.A.

En Tricolor S.A. no se lleva un registro ni control de sus consumos energéticos. Esto conlleva que en el caso de que se presente una anomalía en éstos, no sea detectada por parte de la empresa. Un ejemplo de esta situación se puede observar en la figura 1.3, en donde se muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en un período de tiempo en la PPL, en donde queda en evidencia que efectivamente se han presentado comportamientos anómalos entre las variaciones de uno y otro, pero se desconocen las causas o factores que produjeron estas variaciones, debido a que no se hacen seguimientos de estos.

En la empresa el consumo de energía por tonelada de pintura producida varía de acuerdo al tipo de pintura a elaborar y las maquinarias utilizadas. En un principio la empresa no contaba con un valor exacto de este indicador, sin embargo luego de analizar la información recolectada se pudo generar uno para el periodo 2008-2009 (ver figura 1.4). Al revisar los consumos eléctricos se observa que esos han presentado grandes variaciones de un año a otro, siendo que en Tricolor S.A. no se ha realizado ninguna acción que pudiese significar un aumento o disminución de estos consumos. Por otra parte, en base a experiencias de empresas del rubro, es sabido que estos consumos pueden ser disminuidos, ya sea mejorando el rendimiento de maquinarias o

mediante la implementación de mejores prácticas operacionales destinadas al área energética.

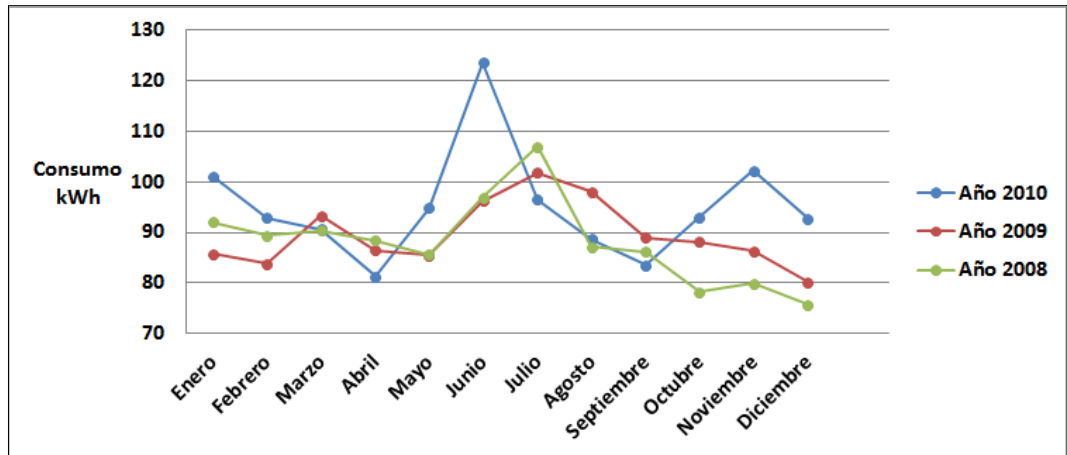


Figura 1.4. Evolución indicador consumo-producción de Tricolor S.A., elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento de Tricolor S.A.

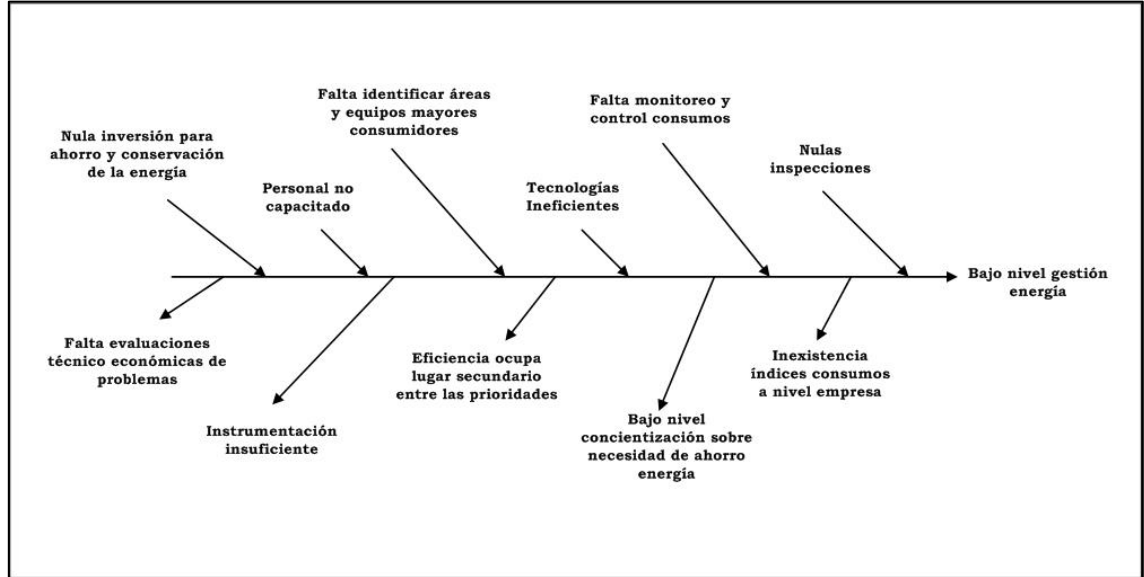


Figura 1.5. Principales aspectos que caracterizan el bajo nivel de gestión de la energía, elaboración propia en base a la información recolectada en la planta.

Sin embargo, hasta el momento del estudio en la empresa se explota este recurso de una forma muy limitada, sin existir diagnósticos de su uso, restringiendo la identificación y/o control de las causas que provocan la baja EE. En la figura 1.5 se encuentran esquematizados los principales aspectos que caracterizan las insuficiencias encontradas que ponen en manifiesto el bajo nivel en gestión de energía presente en el momento del estudio.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Proponer modificaciones en circuitos de producción y en la PPL de Tricolor S.A., con la finalidad de disminuir el consumo de energía.

Objetivos específicos

- Realizar levantamiento de procesos elaboración de pinturas en Tricolor S.A.
- Identificar tipos y consumos de energía presentes en la empresa.
- Seleccionar planta con mayores oportunidades de mejora en el uso de la energía.
- Determinar eficiencia en el uso de la energía en motores y alumbrado de la planta seleccionada.
- Identificar y evaluar oportunidades de mejora en el uso de la energía.
- Plantear y elegir propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética en planta de producción de Tricolor S.A.
- Evaluar económicamente las propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética.
- Seleccionar propuesta de aplicación de sistemas de eficiencia energética a recomendar para su implementación en Tricolor S.A.

2. Antecedentes de la empresa

2.1. Descripción de actividades

Tricolor S.A. se dedica a la fabricación y comercialización de pinturas decorativas bajo su marca Tricolor, además de pinturas industriales y para la construcción, ambas bajo sus marcas Tricolor, Iris y Revor (Ver figura 2.1).

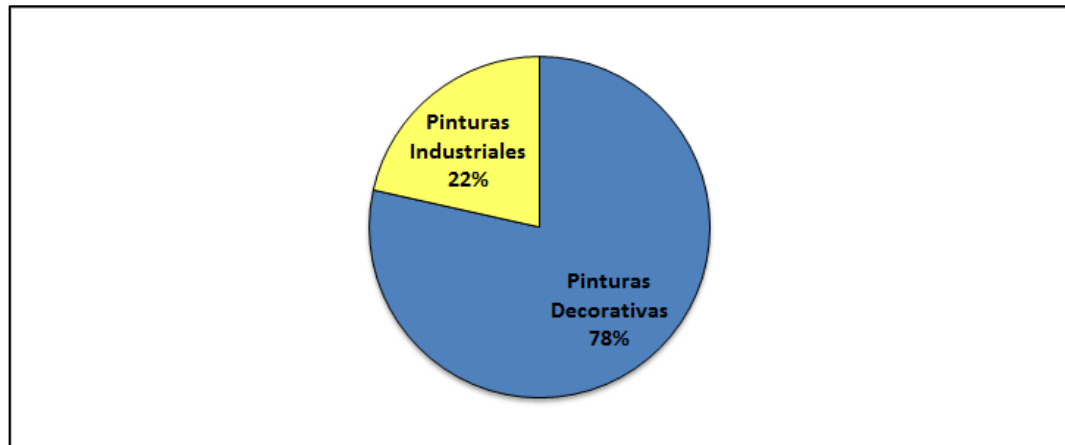


Figura 2.1. Composición ventas de Tricolor S.A. en el año 2011, elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

El año 2011 las ventas de la empresa aumentaron en un 7,07% respecto al año anterior, con ventas consolidadas a diciembre 2011 de \$63.224 millones. La compañía tiene operaciones tanto a nivel nacional como en Perú a través de sus filiales, Industrias Vencedor S.A. y Tintas Gráficas Vencedor S.A., las cuales poseen una importante participación de mercado en dicho país.

En Chile su casa matriz y las plantas de producción de la compañía están ubicadas en la ciudad de Viña del Mar.

La empresa abarca una amplia diversidad de productos, como látex, óleos, esmaltes, barnices, anticorrosivos, pinturas industriales, revestimientos y otros. Además de producir pinturas en polvo para el sector metal-mecánico.

La industria de pinturas en Chile está compuesta aproximadamente en un 60% por pinturas decorativas y en un 40% por pinturas industriales y para la construcción. Las principales empresas a nivel nacional son Ceresita, Sherwin Williams y Tricolor, esta última presenta una participación de mercado estimada del 20%.

2.2. Reseña histórica

La empresa se constituyó en 1962 bajo el nombre de Montana Industrial S.A., la cual estaba mayoritariamente constituida por inversionistas extranjeros. Sus operaciones estaban centradas en la explotación de la industria gráfica y productos afines.

A comienzos de 1970 tras la venta de su planta litográfica, dedico todos sus esfuerzos y recursos a la fabricación y comercialización de pinturas y barnices. Por esto, a partir de 1971, la empresa cambió su nombre a Pinturas Montana Industrial S.A. Luego, en 1980, después de la toma de control de la compañía por parte de inversionistas chilenos, la sociedad adquirió el nombre de Industrias Tricolor S.A.

Durante 1993 la empresa inicio su plan de internacionalización al adquirir, a través de su filial de inversiones, Industrias Tricolor Perú S.A., el 99,9% del capital de Industrias Vencedor S.A., principal productor de pinturas del Perú.

A mediados de 1997, la sociedad acordó adquirir la marca comercial de pinturas Iris, constituyendo su filial Comercializadora de Pinturas Iris S.A., encargada de la comercialización de la nueva marca.

En marzo de 2007, se acordó la fusión de Industrias Tricolor S.A. con la filial Tricolor S.A., mediante la absorción de la primera por Tricolor S.A., quedando esta última como la continuadora legal de la sociedad.

Finalmente el 2008, la sociedad en conjunto con su filial de Pinturas Iris S.A., adquirió el 100% de las acciones de la fábrica de pinturas Industriales Revor S.A., quedando la estructura de la propiedad de la organización como se puede apreciar en la figura 2.2.

A fines de diciembre del 2011 la totalidad de la empresa fue adquirida por CPPQ (Corporación Peruana de Productos Químicos) controlada por el holding peruano Inversiones Breca S.A., de la familia Brescia Cafferata.

CPPQ produce y comercializa pinturas, sistemas de recubrimientos de protección adhesivos y otros productos químicos para los sectores de construcción, marino, industrial, automotriz, textil, plásticos y productos para el hogar. Actualmente tiene operaciones principalmente en territorio peruano y participa en los mercados industriales y marinos de Ecuador, Bolivia y Chile a través de la marca JET.

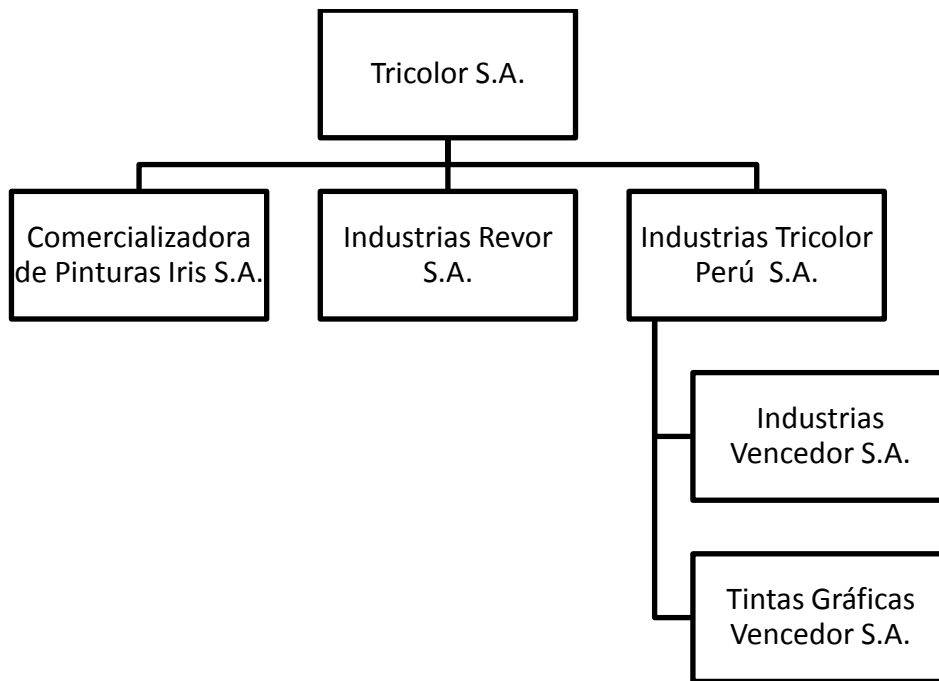


Figura 2.2. Estructura de la propiedad accionaria de Tricolor S.A. a Diciembre 2011, fuente estimaciones Fitch 2011.

2.3. Análisis de la situación actual

Dentro de sus instalaciones productivas Tricolor S.A. cuenta con cuatro plantas: una planta destinada a la fabricación de resinas (en lo adelante PPR), una planta para la fabricación de productos UV (en lo adelante PPUV), una planta destinada a la fabricación de productos en polvo y su planta para la elaboración de pinturas líquidas. En la tabla 2.1 se pueden apreciar los tipos de energía utilizada en cada una de estas plantas.

Tabla 2.1. Tabla de tipos de energía utilizada en la planta productiva.

Planta Productiva	Tipo de energía
PPL	Eléctrica
PPP	Eléctrica
PPR	Eléctrica / Térmica
PPUV	Eléctrica

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

De acuerdo a los consumos anuales de energía en la empresa, un 62% está asociado a electricidad mientras que el 38% restante corresponde a gas natural. (Ver figura 2.3).

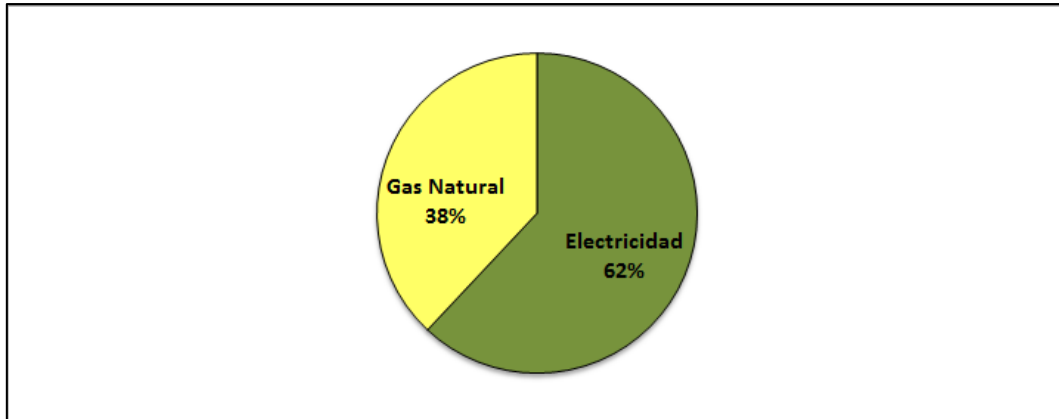


Figura 2.3. Distribución del consumo anual de energía (2008-2010), elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

En la planta de producción de Tricolor S.A. el consumo de gas natural está asociado en su mayoría a la PPR, en el caso de la electricidad, como se puede apreciar en la figura 2.4., los mayores consumos corresponden a la PPL y la PPP.

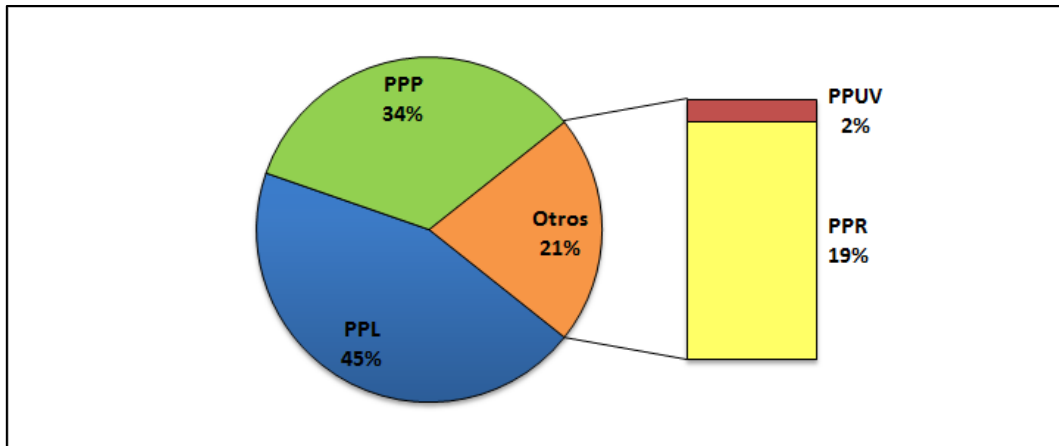


Figura 2.4. Distribución del consumo eléctrico según planta productiva, elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

3. Planta seleccionada

Para seleccionar la planta productiva, foco del presente estudio, se opta por analizar la distribución de los consumos asociados a los tipos de energía utilizada en la empresa, la evolución histórica de estos y el tipo de tecnología utilizada.

Finalizado el análisis de estos puntos se elige, mediante una decisión conjunta con el área de operaciones, la planta de elaboración de pinturas líquidas para la búsqueda de oportunidades de implementación de medidas de uso eficiente de la energía, puesto que es la que presenta mayores oportunidades de mejora, debido a la presencia de equipos de baja eficiencia en sus procesos productivos y malas prácticas operacionales, identificándose dos sectores propicios para esta investigación, el sistema motriz y el de iluminación de la PPL. Además de lo anteriormente mencionado, se opta por esta planta por ser la principal consumidora de energía eléctrica, un 45% del total anual, de la planta productiva de Tricolor S.A. (ver figura 3.1).

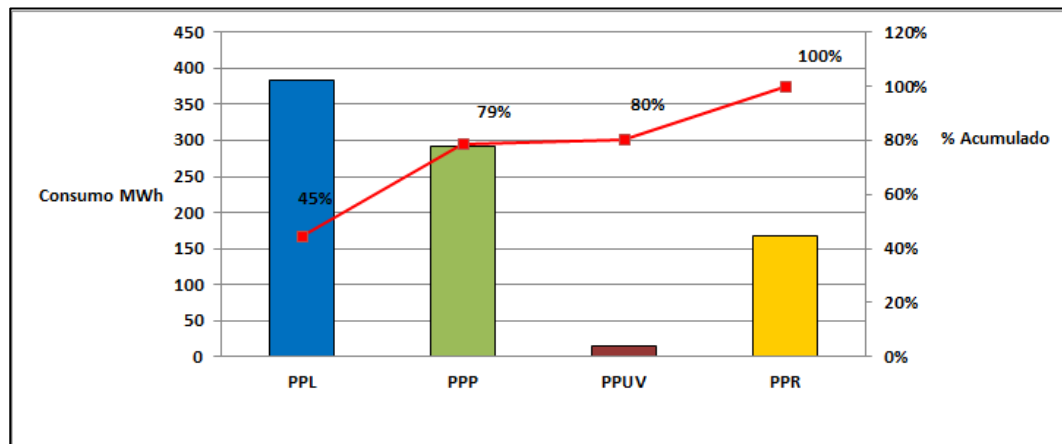


Figura 3.1. Diagrama de Pareto de los principales consumidores de energía eléctrica de la planta productiva de Tricolor S.A., elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantención.

En la figura 3.2 se puede observar la evolución mensual de los consumos eléctricos de la PPL en los últimos tres años, se asocian mayores consumos al año 2010 producto de un aumento en la producción de pinturas y revestimientos, debido a la demanda del mercado como consecuencia de la reconstrucción en Chile producto del terremoto sufrido en febrero de ese mismo año.

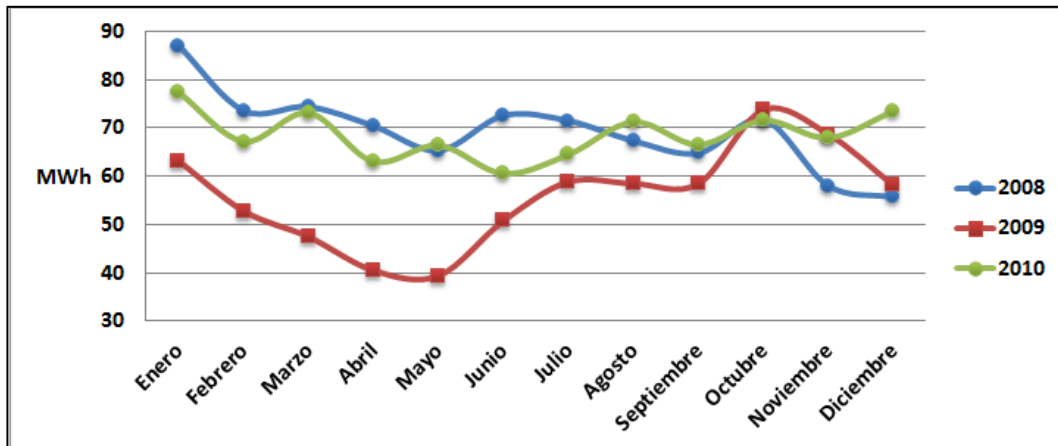


Figura 3.2. Evolución mensual de los consumos eléctricos de la PPL (2008-2010), elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento de Tricolor S.A.

3.1. Elaboración pinturas líquidas

La pintura es un revestimiento de aspecto líquido, formado por partículas finamente divididas en un vehículo, que después de ser aplicada sobre una superficie se convierte en una película sólida que cumple la función de proteger y dar un factor estético para la superficie en la que es aplicada [Giudice&Pereyra2009].

Componentes de la pintura líquida

Las pinturas líquidas están compuestas por cuatro elementos básicos:

- **Pigmentos:** Son pequeñas partículas de origen orgánico o inorgánico, cuya misión es otorgarle a la pintura color, poder de cubrición, consistencia, regular su brillo o bien, otorgarle propiedades anticorrosivas.
- **Vehículo:** También llamado resina o ligante, es un compuesto que permite mantener unidos todos los elementos en forma homogénea, creando una película al momento de la aplicación de la pintura. Los óleos y esmaltes sintéticos poseen como vehículo constituyente las resinas alquídicas disueltas en aguarrás mineral. Por otro lado en las pinturas con base agua como los látex y esmaltes al agua su vehículo son las resinas en emulsión.
- **Solventes:** Se llaman así al agua y otros productos líquidos de naturaleza orgánica cuya misión es la de dar a la pintura una viscosidad óptima según el método de aplicación que deba utilizarse. El solvente se encarga de otorgar las propiedades de viscosidad, densidad y regular el porcentaje de sólidos que tendrá la pintura.

- **Aditivos:** Son productos químicos que se dosifican en pequeñas cantidades que permiten facilitar el proceso de fabricación de la pintura, aportar características concretas a la pintura seca, crear condiciones adecuadas para que el secado se produzca de forma correcta y estabilizar la pintura en el período de almacenamiento.

Proceso de producción pinturas líquidas

La fabricación de una pintura se lleva a cabo mediante un proceso de carácter físico químico que puede ser subdividido en tres sub-procesos (ver figura 3.3). El primero de estos corresponde a la elaboración de base de molienda de la pintura que puede ser llevada a cabo mediante dos procesos en función del producto final que se requiera obtener. Ya elaborada la base se llevan a cabo la terminación, ajustes y color de la pintura como segundo sub-proceso, para finalizar con el filtrado y envasado de la pintura.

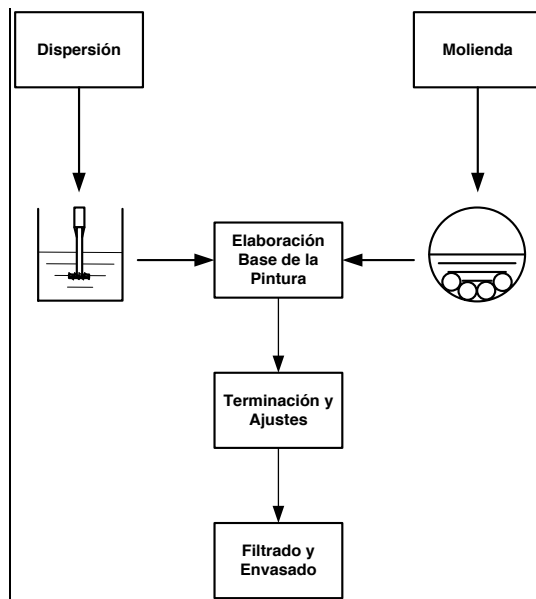


Figura 3.3. Esquema general de procesos elaboración pinturas líquidas, elaboración propia.

Elaboración base de la pintura

La elaboración de la base de molienda de la pintura puede ser llevada a cabo mediante un proceso de dispersión o molienda. Si se desea obtener una base incolora esta es llevada a cabo mediante dispersión que desaglomera (por medio de la utilización de un equipo) las partículas de los pigmentos y cargas que se encuentran asociadas, generando otras asociaciones de menor cantidad de partículas que por tanto son de menor diámetro, hasta obtener una distribución homogénea y estable en un medio líquido compuesto con disolventes, resinas y aditivos requeridos para la elaboración de la base de molienda.

En caso contrario si se desea obtener una base de pintura en color, un producto con un tamaño de partícula homogénea o lo suficientemente pequeño para obtener las características deseadas por la base de la pintura esta debe ser elaborada mediante molienda, que básicamente consiste en la disgregación en partículas muy finas de los pigmentos, disolventes, resinas y aditivos.

Para fabricar la base de molienda de la pintura por el proceso de dispersión, en la empresa existen máquinas que buscan producir una incorporación de los sólidos en polvo en los agentes líquidos, por medio de una agitación con discos.

En el caso del proceso de molienda en Tricolor hay tres formas para clasificar las maquinarias utilizadas, en la primera se busca disgregar de manera conjunta todos los componentes de la base, por medio de la utilización de molinos de bolas. En la segunda se busca pasar de forma continua una pasta pre dispersada por una cámara contenedora de elementos que permiten su disgregación, en el caso de los molinos de perlas, repitiendo la operación hasta que la mezcla obtenga la finura deseada. Por último se encuentran los molinos de piedras, en donde se consigue disgregar la pasta pre dispersada por medio de una acción de molienda efectuada al girar dos muelas, por donde pasa continuamente la pasta, hasta conseguir la finura deseada para la base de molienda de la pintura.

Terminación y ajustes

Ya fabricada la base de la pintura, se procede a su terminación en donde por un proceso de agitación se incorporan básicamente: resina, solvente y aditivos indicados en la formula en estanque de terminación, donde ya se ha transferido con anterioridad la base de la pintura. Las materias primas restantes son añadidas una a una para evitar posibles reacciones entre ellas. Este proceso finaliza con la obtención de una mezcla homogénea que se consigue por medio de la utilización de un agitador de disco o un agitador de hélice.

En caso que fuese necesario y se debiesen realizar ajustes a la pintura con el fin de proporcionarle a esta un aspecto de fluidez homogénea o un ajuste, de acuerdo

a las necesidades de aplicación de la misma, se deben agregar concentrados y/o disolventes para ajustes de color y viscosidad, respectivamente.

Filtrado y envasado

Una vez que la pintura se encuentre homogeneizada, se toma una muestra para el laboratorio de control de calidad (en lo adelante CC), donde es sometida a pruebas para determinar la calidad del producto, si esta es aprobada se puede proceder a su envasado. En caso que sea requerido se debe filtrar la pintura para suprimir las partículas indeseables. El filtro utilizado es una malla de fibra sintética, que permite el paso de la pintura en toda su extensión, para esto el caudal de la pintura debe ser regulado para que la malla no se deforme.

Después del filtrado se procede al envasado de la pintura, esta operación puede ser realizada de forma manual o automática dependiendo de las características de la planta o del tipo de contenerizado de la pintura elaborada, pudiéndose envasar en formados de ¼ de gln., 1 gln. o 5 gln., entre otros formatos.

3.2. Planta pinturas líquidas

La principal actividad desarrollada en Tricolor S.A. es la elaboración y venta de pinturas líquidas cuya fabricación es realizada en su PPL, la cual cuenta con nueve subplantas destinadas a elaborar toda la gama de productos de la empresa de acuerdo a sus procesos de elaboración y características finales de estos.

3.2.1. Planta 1

En la planta uno se elabora pinturas de base acuosa o solvente, en las figuras 3.4.a y 3.4.b se encuentra esquematizado su proceso de producción, el que se inicia con el armado y traslado de los pallets con las materias primas en una grúa de horquilla hasta la zona del montacargas, para posteriormente ser llevados hasta el tercer piso de la planta, donde se realiza la base de molienda de la pintura. Adjunta a la carga de materias primas se encuentra la orden de producción (en lo adelante OP) y en base a las indicaciones que esta contiene, se debe cargar el molino de bolas, dejando sus insumos en etapa de molienda o bien se pre dispersan en un estanque móvil para luego ser cargados en el molino de piedras. La base de la pintura deber permanecer en etapa de molienda hasta que sea aprobada por el departamento de control de CC.

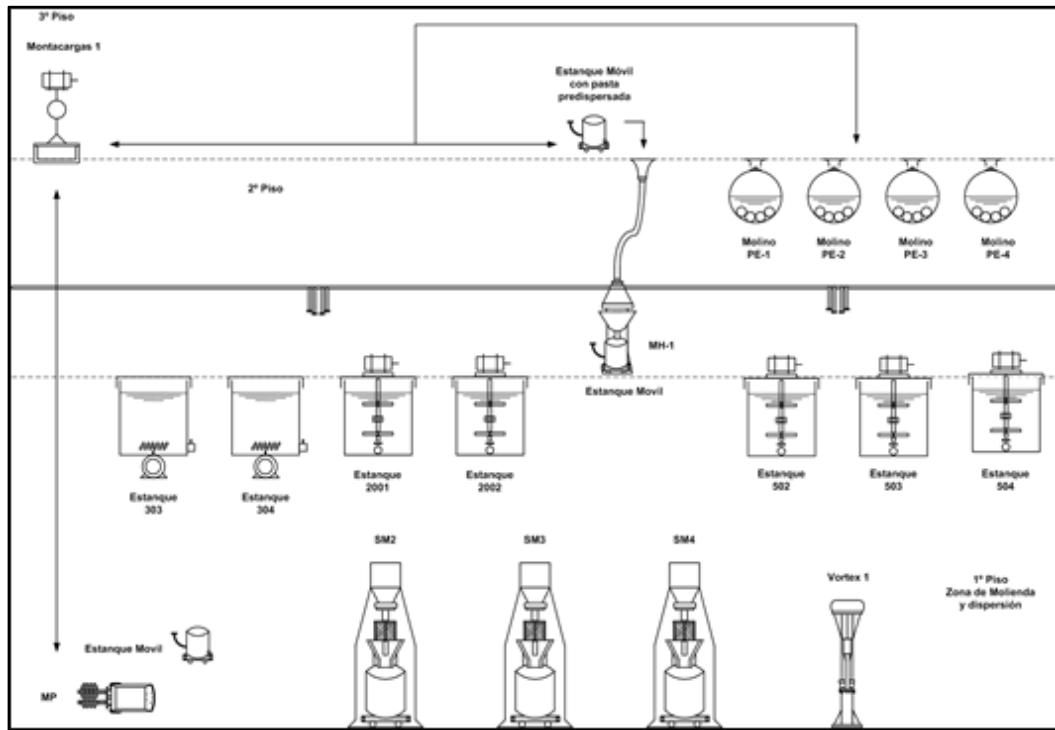


Figura 3.4.a. Esquema procesos de fabricación pinturas en planta 1, elaboración propia.

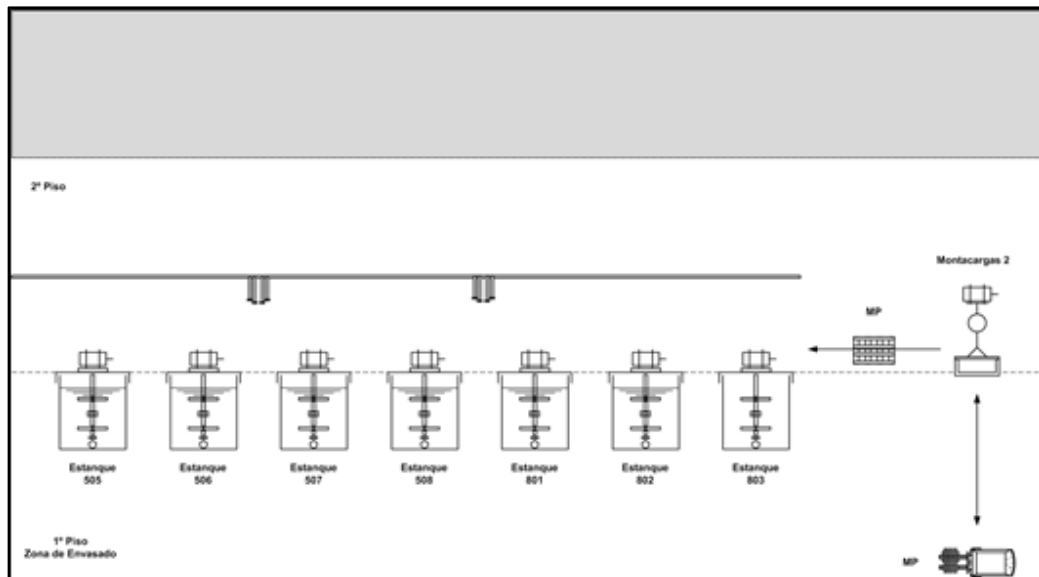


Figura 3.4.b. Esquema procesos de fabricación pinturas en planta 1, elaboración propia.

En la planta uno el proceso de elaboración también se puede iniciar con el traslado de los pallets de materias primas en una grúa de horquilla hasta el primer piso de la planta y ser dispuestos en las áreas demarcadas. Adjunta a la carga de materias primas se encuentra la OP y en base a sus indicaciones se pre dispersa una pasta en un estanque móvil para posteriormente quedar en etapa de molienda en el molino de perlas. La base de la pintura debe permanecer en este equipo hasta que alcance el grado de molienda necesaria para ser aprobada por el departamento de CC.

Una vez obtenida y aprobada la base de molienda de la pintura, esta es descargada en un estanque de terminación en el segundo piso de la planta (ver tablas 3.1.a y 3.1.b), en este piso también deben ser recibidos los pallets con la materia prima necesaria para la siguiente etapa del proceso, por medio de la utilización del montacargas dos.

Tal como se indica en la OP, se adicionan al estanque y se deja funcionando hasta conseguir una mezcla homogénea. Para realizar ajustes al producto se adicionan los concentrados y/o disolventes necesarios, al estanque de terminación, dejando la pintura en ajuste hasta conseguir una mezcla homogénea.

Se toman muestras para CC, una vez aprobada la pintura se filtra y descarga en el primer piso de la planta, para ser envasada manualmente.

Tabla 3.1.a. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 1.

Molino/Estanque	Uso	Capacidad (Gal)
MH1	Molienda	-
PE-1	Molienda	143
PE-2	Molienda	79
PE-3	Molienda	143
PE-4	Molienda	143
SM2	Molienda	-
SM3	Molienda	-
SM4	Molienda	-
Estanque 303	Elaboración diluyente	300
Estanque 304	Elaboración espesante	300
Estanque 2001	Terminación y ajustes planta	1800
Estanque 2002	Terminación y ajustes planta	1800
Estanque 502	Terminación y ajustes planta	500

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

Tabla 3.1.b. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 1.

Molino/Estanque	Uso	Capacidad (Gal)
Estanque 503	Terminación y ajustes planta	500
Estanque 504	Terminación y ajustes planta	500
Estanque 505	Terminación y ajustes planta	480
Estanque 506	Terminación y ajustes planta	480
Estanque 507	Terminación y ajustes planta	480
Estanque 508	Terminación y ajustes planta	480
Estanque 801	Terminación y ajustes planta	900
Estanque 802	Terminación y ajustes planta	900
Estanque 803	Terminación y ajustes planta	900

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

3.2.2. Planta 2

En esta planta se elaboran pinturas acuosas, su proceso (ver esquema en la figura 3.5) comienza con el armado y traslado de los pallets con la carga de materias primas hasta la zona del montacargas cinco, que se encuentra ubicado en el primer piso de esta planta.

Luego estos pallets son llevados hasta el tercer nivel de la planta y se disponen en las áreas demarcadas, hasta que inicie la dispersión de la base de la pintura. Junto a la carga de materias primas se encuentra la OP que contiene las indicaciones con los volúmenes de agua y resina con que se cargara el estanque (PH3-1/2 o PH4-1/2) donde se dispersara la base.

Con el estanque ya cargado, se enciende el equipo dispersador (PH3 o PH4), se adicionan una a una las materias primas sólidas y se deja dispersar alrededor de 30 o 45 minutos que alcance el grado de molienda requerida para la fabricación de la pintura, la cual debe ser aprobada por el departamento de CC.

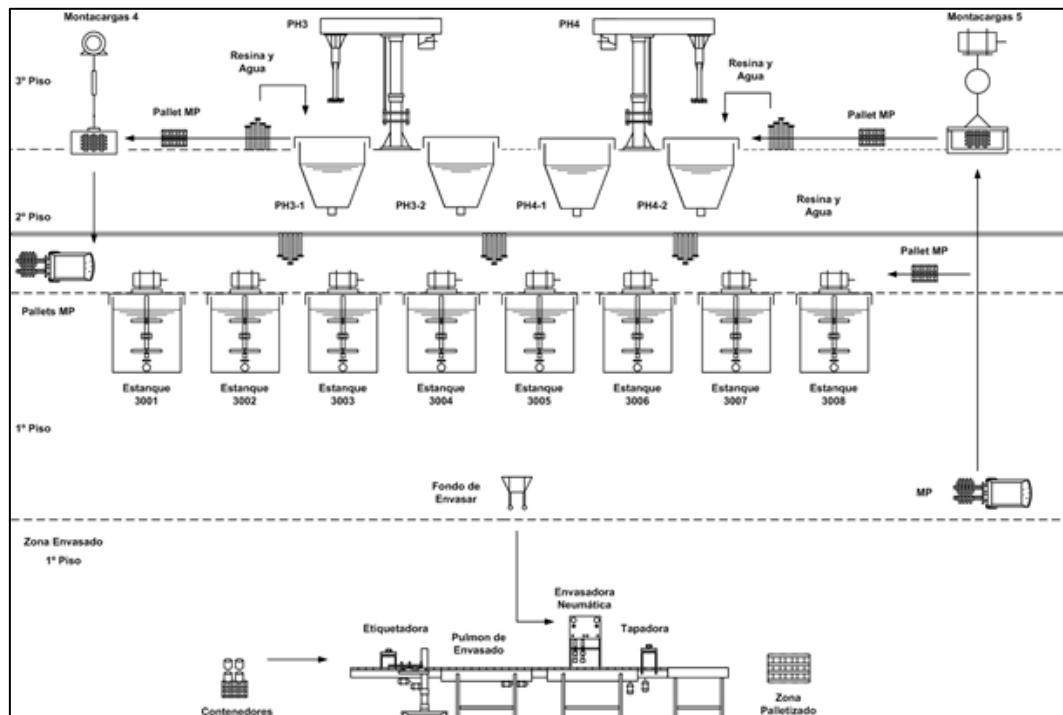


Figura 3.5. Esquema procesos de fabricación pinturas en planta 2, elaboración propia.

Tabla 3.2. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 2.

Estanque	Uso	Capacidad (Gal)
PH3-1	Dispersión	900
PH3-2	Dispersión	900
PH4-1	Dispersión	900
PH4-2	Dispersión	900
Estanque 3001	Terminación y ajustes	2600
Estanque 3002	Terminación y ajustes	2600
Estanque 3003	Terminación y ajustes	2600
Estanque 3004	Terminación y ajustes	2600
Estanque 3005	Terminación y ajustes	2600
Estanque 3006	Terminación y ajustes	2600
Estanque 3007	Terminación y ajustes	2600
Estanque 3008	Terminación y ajustes	2600

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

Finalizado el proceso de dispersión, se descarga la base de la pintura a un estanque de terminación en el segundo piso de la planta (Ver tabla 3.2), en donde también deben ser recibidos, por medio de la utilización del montacargas cinco, los pallets con la materia prima necesarias para la siguiente etapa de elaboración de la pintura.

De acuerdo a las indicaciones de la OP, se deben adicionar al estanque en que se descargó la base de la pintura, los insumos requeridos para la etapa de terminación, se deja en funcionamiento hasta conseguir una mezcla homogénea. Para realizar ajustes al producto se adicionan concentrados y/o disolventes al estanque de terminación dejándolo en agitación hasta que la mezcla sea homogénea. Se toma muestra para CC, si esta es aprobada, la pintura se filtra y se procede a su descarga en un fondo de envasar para ser envasada por la máquina neumática número tres, la cual se encuentra ubicada en el primer piso de la planta. En caso de requerir envasado manual, se descarga directamente en el contenedor indicado en la OP.

3.2.3. Planta TIP

La planta TIP elabora pinturas de base acuosa, su proceso se encuentra esquematizado en la figura 3.6 y comienza con la recepción de la OP, por parte del operario, de las manos del jefe de turno. Posterior a esto se descargan a un estanque móvil las cantidades de las bases indicadas en la OP para la fabricación de la pintura, esta descarga se realiza manualmente desde los estanques de la planta uno o bien por medio del Dosificador TIP en el caso de las bases almacenadas en los estanques de la planta dos.

Una vez descargadas las bases necesarias se adicionan los concentrados que pueden ser añadidos de forma manual o con la maquina dosificadora, se traslada estanque móvil hasta el agitador hidráulico y se deja en agitación hasta obtener el color deseado para el producto final.

Para realizar ajustes a la pintura se adicionan concentrados o disolventes al estanque móvil, dejándolo en agitación, hasta que la mezcla sea homogénea. Se toma muestra para CC y si es aprobada se procede a su envasado.

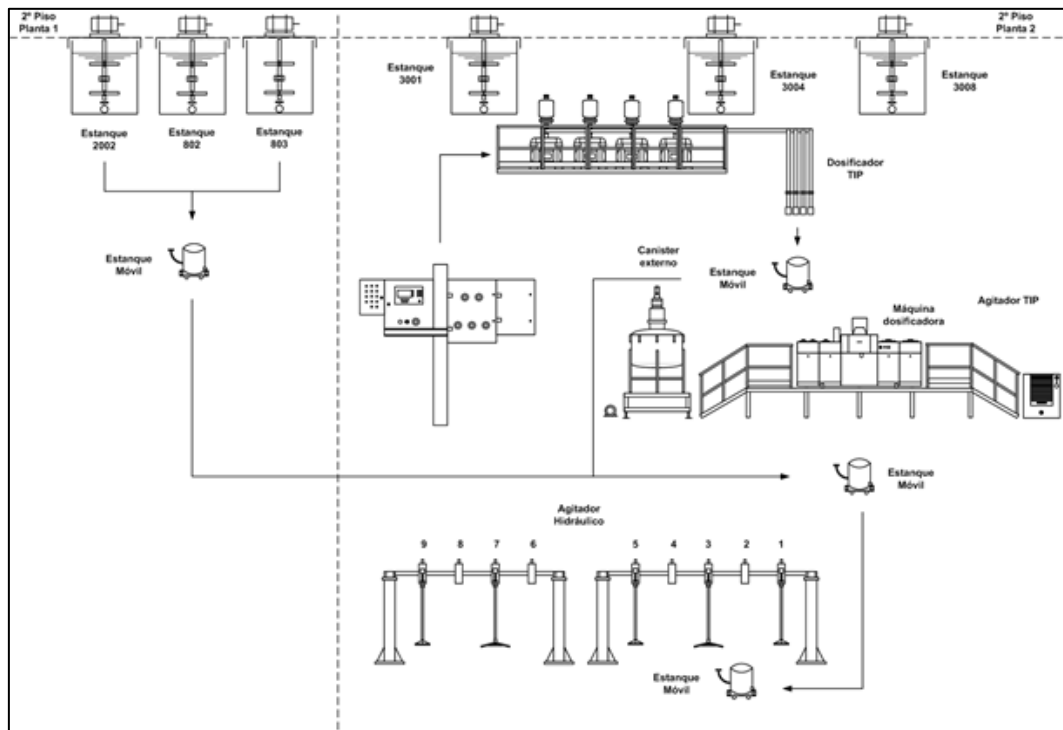


Figura 3.6. Esquema procesos de fabricación pinturas en planta TIP, elaboración propia.

3.2.4. Planta 3

La planta tres elabora pinturas con base solvente, en las figuras 3.7.a y 3.7.b se encuentra esquematizado su proceso, el cual se inicia con el armado y traslado de los pallets con las materias primas, por medio de una grúa de horquilla hasta la zona del montacargas siete, ubicado en el primer piso de la planta, para proceder a ser llevados hasta el segundo nivel y ubicados en las zonas demarcadas para su disposición. Adjunta a la carga de materias primas se encuentra la OP y en base a sus indicaciones se carga el molino de bolas (Ver tabla 3.3) con la resina y disolventes necesarios, los que son transportados por medio de la utilización de estanques móviles.

Siguiendo con el proceso, se deben adicionar las materias primas sólidas, se cierra el molino y se procede con su encendido, dejando la base de la pintura en etapa de molienda por un tiempo mínimo de ocho horas o hasta obtener las características de finura deseada para el producto final. Se toma muestra para CC, si esta es aprobada, la pintura se filtra y descarga en un fondo de envasar, para ser envasada por la máquina neumática cuatro que se encuentra ubicada en el primer piso de la planta tres, en caso de requerir envasado manual, se descarga directamente en el contenedor indicado en OP.

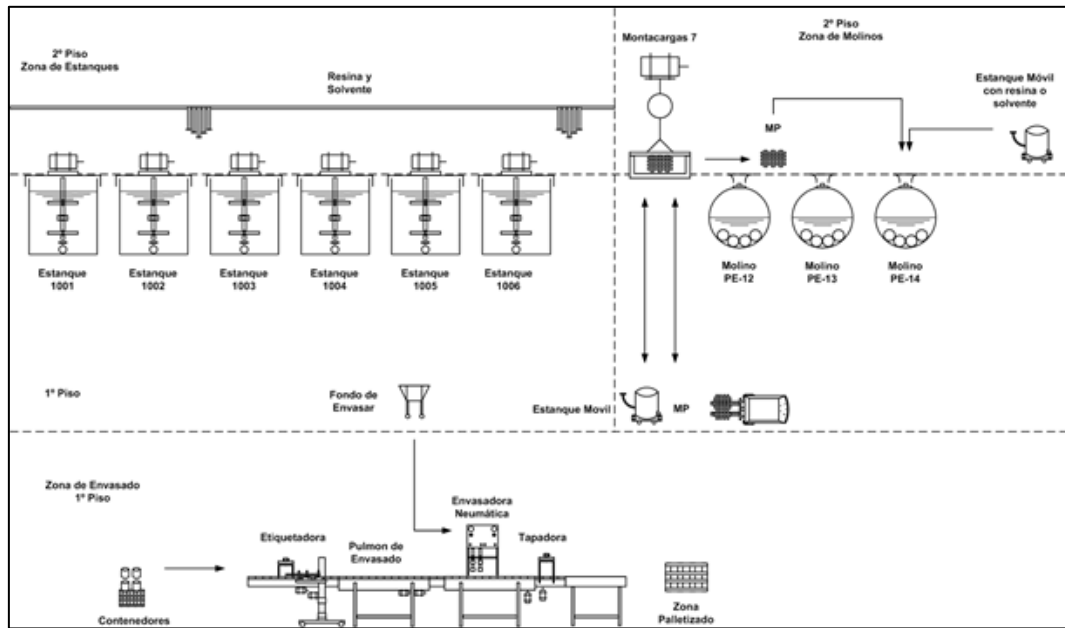


Figura 3.7.a. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 3, elaboración propia.

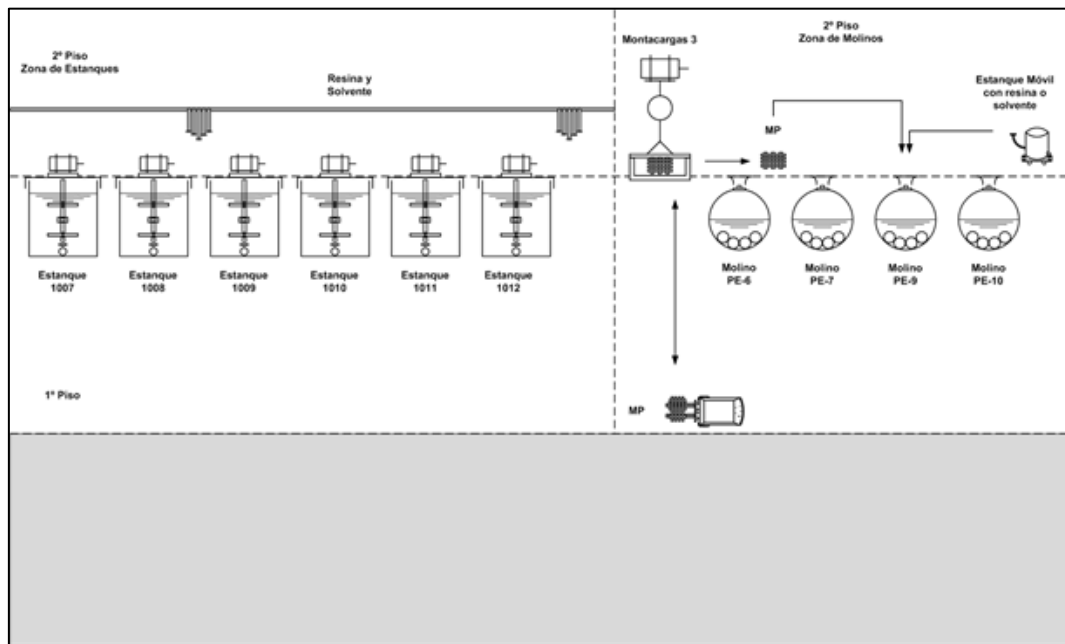


Figura 3.7.b. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 3, elaboración propia.

Tabla 3.3. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 3.

Molino/Estanque	Uso	Capacidad (Gal)
PE-6	Molienda	647
PE-7	Molienda	843
PE-9	Molienda	938
PE-10	Molienda	938
PE-12	Molienda	770
PE-13	Molienda	770
PE-14	Molienda	770
Estanque 1001	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1002	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1003	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1004	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1005	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1006	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1007	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1008	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1009	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1010	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1011	Terminación y ajustes	1000
Estanque 1012	Terminación y ajustes	1000

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

3.2.5. Planta 4

La planta cuatro elabora lotes de hasta 30 galones de pinturas de base acuosa o solvente, su proceso (ver esquema en la figura 3.8) comienza con el armado y traslado de los pallets con las materias primas hasta la planta, por medio de una grúa de horquilla o por medio del montacargas seis, el que se encuentra ubicado en la planta tres. Adjunta a la carga de materias primas se encuentra la OP con las indicaciones de la pintura a elaborar, según corresponda se prosigue con la etapa de dispersión o molienda de la base hasta obtener las características deseadas para el producto final.

Se toma muestra para CC, una vez aprobada la base de molienda, se debe descargar a un estanque móvil, se termina la pintura y realizan los ajustes que requiera, utilizando los equipos de agitación de la misma planta (Cowless). Se toman muestras para CC, si esta es aprobada, la pintura se filtra y se procede a envasar manualmente.

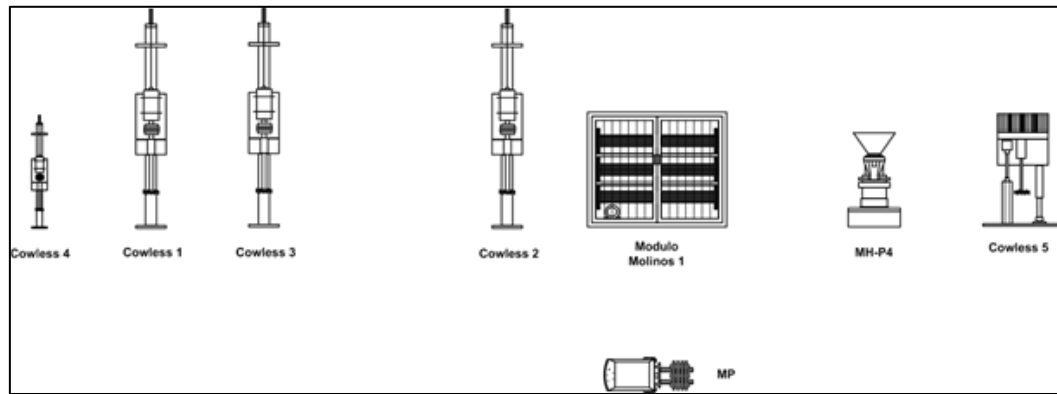


Figura 3.8. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 4, elaboración propia.

3.2.6. Planta 5

La planta cinco elabora aerosoles, su proceso el cual se encuentra esquematizado en la figura 3.9, comienza con el armado y traslado, por medio de una grúa de horquillas, de las materias primas necesarias para la base del producto, que es elaborada en un estanque móvil. Se toma muestra para CC, una vez aprobada se realizan los ajustes que esta requiera y se procede a su envasado, el cual comienza con la descarga del producto en un estanque en altura que se encuentra acoplado a la máquina envasadora.

Los productos elaborados en esta planta pasan por un baño de pruebas para comprobar que no existan filtraciones ni daños en sus envases, para posteriormente pasar a la etapa de etiquetado.

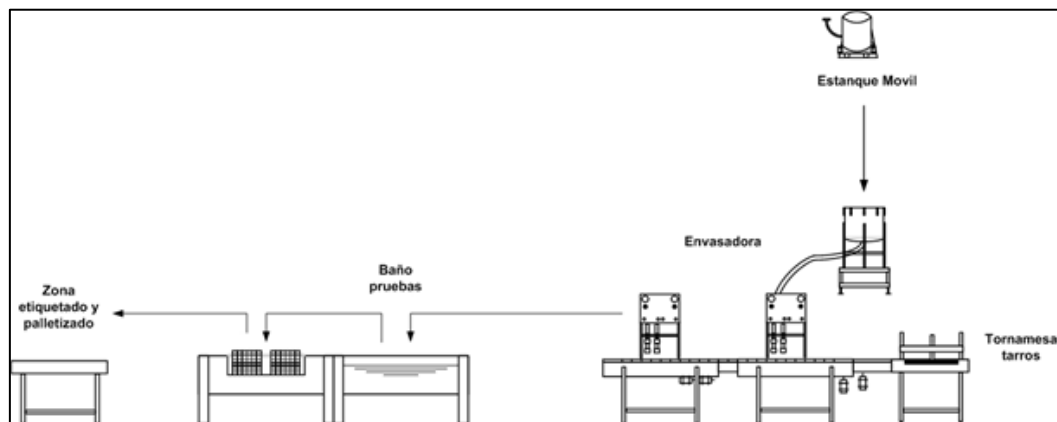


Figura 3.9. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 5, elaboración propia.

3.2.7. Planta 6

La planta seis elabora pastas y revestimientos, su proceso (ver esquema en la figura 3.10) comienza con el armado y traslado de los pallets con las cargas hasta la zona de materias primas de la planta, por medio de la utilización de una grúa de horquilla.

Adjunta a los insumos necesarios para la pintura se encuentra la OP que contiene las indicaciones de elaboración, con las cuales se procede a cargar el equipo a utilizar (ver tabla 3.4) con agua, resina, espesantes y las materias primas sólidas, dejando en etapa de mezclado.

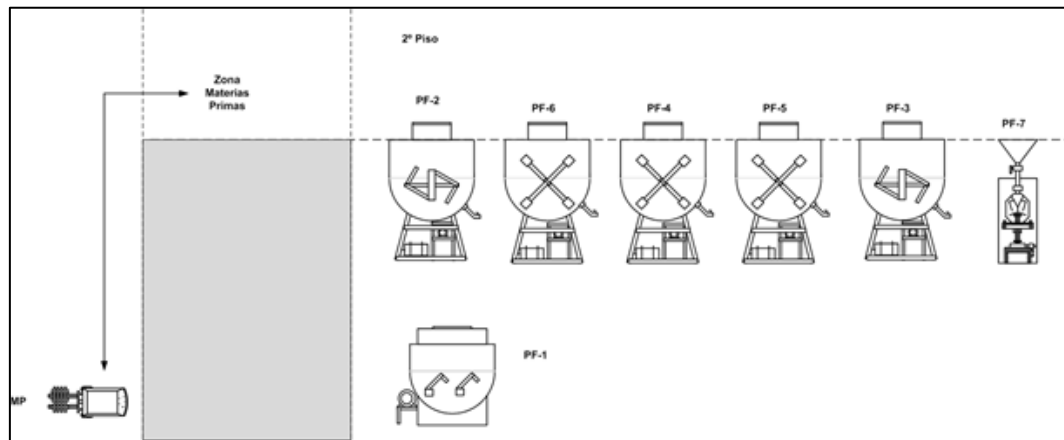


Figura 3.10. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 6, elaboración propia.

Tabla 3.4. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 6.

Equipo	Uso	Capacidad (Gal)
PF-1	Mezclado y terminación revestimientos	70
PF-2	Mezclado y terminación revestimientos	270
PF-3	Mezclado y terminación revestimientos	270
PF-4	Mezclado y terminación revestimientos	600
PF-5	Mezclado y terminación revestimientos	600
PF-6	Mezclado y terminación revestimientos	600
PF-7	Envasado revestimientos	70

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

Una vez terminada la etapa de mezclado, se procede con los ajuste de color, se toman muestras para CC, si estas son aprobadas, se descarga y envasa manualmente en el primer piso de la planta, o se utiliza la máquina envasadora de la planta (PF-7), según los contenedores indicados en la OP.

3.2.8. Planta 7

La planta siete elabora pinturas con base solvente, en las figuras 3.11.a y 3.11.b se encuentra esquematizado su proceso de fabricación, el que se inicia con el armado y traslado de los pallets con las materias primas en una grúa de horquilla hasta el montacargas ocho, para ser llevados hasta el tercer piso de la planta y ubicándolos en las zonas demarcadas, es en este piso donde se realiza la base de molienda de la pintura. Adjunta a los pallets de materias primas se encuentra la OP que contiene los requerimientos de resina y solvente a cargar en el estanque de dispersión (Batch 1 o Batch 2). Posterior a esta carga se enciende el equipo dispersor (PH5) y se adicionan las materias primas sólidas, dejando en etapa de dispersión la base por un tiempo de 30 a 45 minutos.

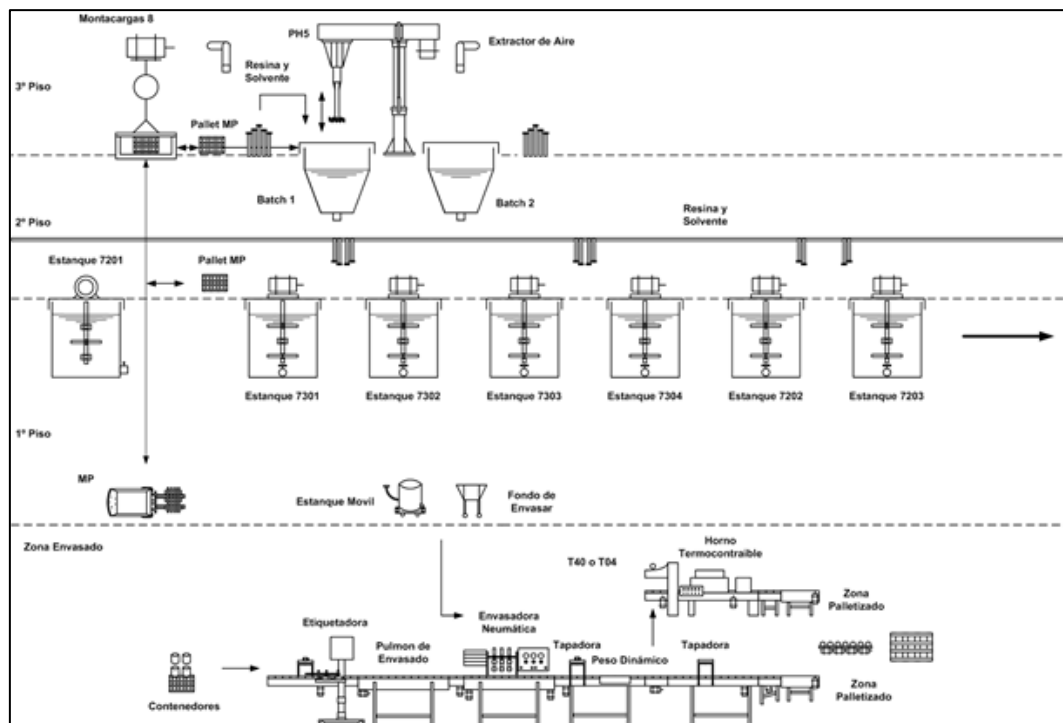


Figura 3.11.a. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 7, elaboración propia.

Cuando la base de la pintura alcance el grado de molienda requerida, se descarga a un estanque del segundo piso para continuar con las etapas de terminación y ajustes (los estanques disponibles en la planta se pueden ver en la tabla 3.5.). Aprobada la pintura por CC, se filtra y se descarga a un estanque móvil o fondo de envasar, para proceder a ser envasada manualmente o con la envasadora neumática de la planta dependiendo de los contenedores indicados en la OP.

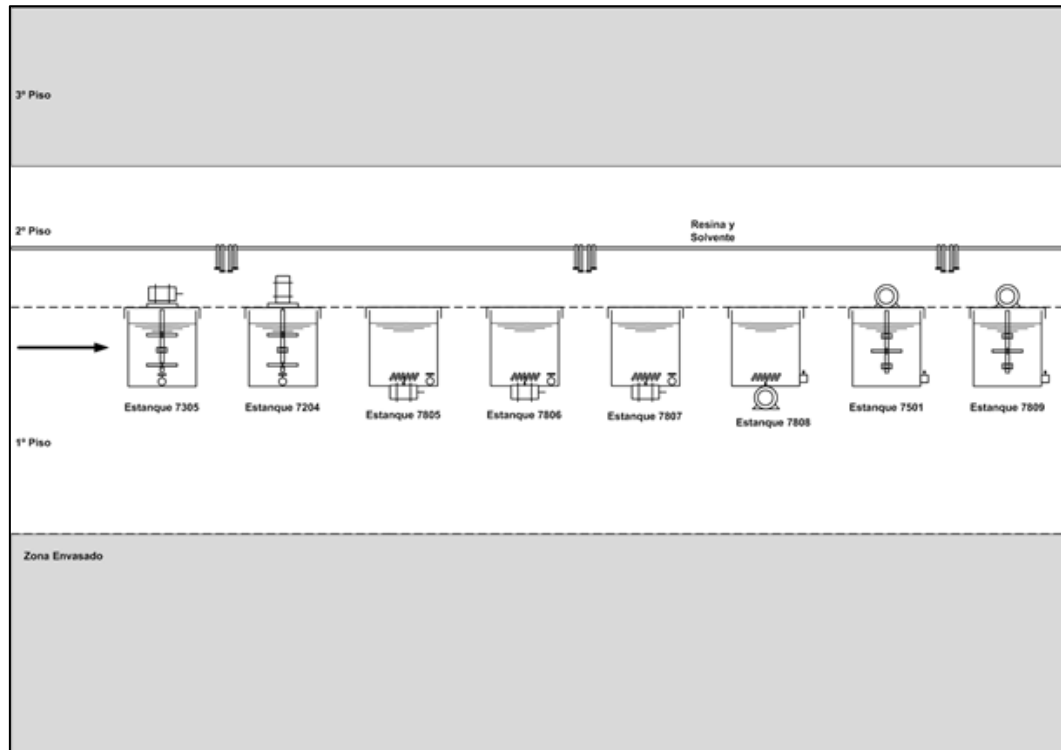


Figura 3.11.b. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 7, elaboración propia.

Tabla 3.5.a. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 7.

Estanque	Uso	Capacidad (Gal)
Batch 1	Dispersión	1150
Batch 2	Dispersión	1150
Estanque 7201	Terminación y ajustes planta 7	1800
Estanque 7301	Terminación y ajustes planta 7	2600
Estanque 7302	Terminación y ajustes planta 7	2600
Estanque 7303	Terminación y ajustes planta 7	2600

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

Tabla 3.5.b. Tabla descripción de equipos utilizados en la planta 7.

Estanque	Uso	Capacidad (Gal)
Estanque 7304	Terminación y ajustes planta 7	2600
Estanque 7202	Terminación y ajustes planta 7	1800
Estanque 7203	Terminación y ajustes planta 7	1800
Estanque 7305	Terminación y ajustes planta 7	2600
Estanque 7204	Terminación y ajustes planta 7	1800
Estanque 7805	Terminación y ajustes molinos /Armado	2600
Estanque 7806	Terminación y ajustes molinos /Armado	800
Estanque 7807	Terminación y ajustes molinos /Armado	800
Estanque 7808	Terminación y ajustes molinos /Armado	800
Estanque 7501	Terminación y ajustes molinos /Armado	500
Estanque 7809	Terminación y ajustes molinos /Armado	900

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

3.2.9. Planta 8

La planta ocho elabora pinturas con base acuosa y solvente, su proceso (ver esquema en la figura 3.12) comienza con el armado y traslado de los pallets con materias primas hasta la planta. Adjunta a los pallets de materias primas esta la OP que contiene los requerimientos para la carga del estanque móvil en donde se dispersara la base de molienda de la pintura, una vez cargado se lleva el estanque móvil hasta un equipo dispersor, se enciende el equipo y se van agregando una a una las materias primas sólidas. Se deja la base en etapa de dispersión hasta que alcance el grado de molienda para pasar a terminación y ajustes, los que son realizados en el mismo estanque móvil, con la utilización de un equipo de agitación en la planta.

Terminados los ajustes se toman muestras para CC, si la pintura es aprobada se procede a trasladar estanque móvil hasta la planta donde se realizara su envasado, según los contenedores indicados en la OP.

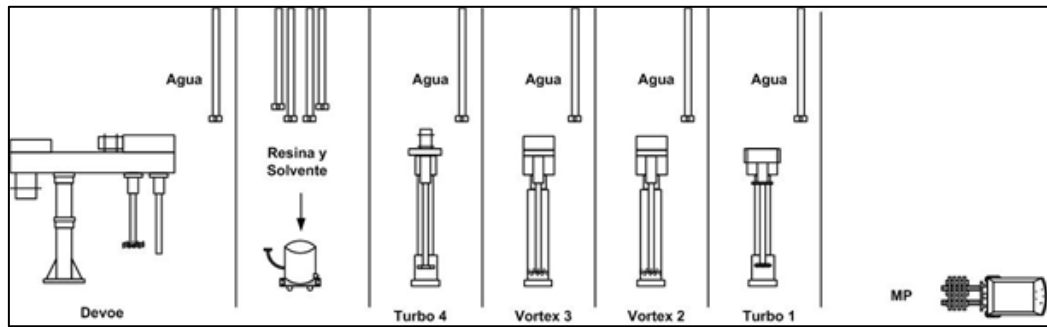


Figura 3.12. Esquema procesos de fabricación pinturas planta 8, elaboración propia.

4. Marco teórico

4.1. Producción limpia

Toda actividad genera residuos ya sean sólidos, líquidos, gaseosos o una combinación de estos, los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera que su impacto negativo para la salud humana y el medio ambiente sea el menor posible. A lo largo de la historia se han buscado soluciones a los problemas de contaminación causada por las actividades del ser humano, lo que ha llevado al desarrollo de diferentes conceptos, entre ellos la Producción limpia o Producción Más Limpia (en lo adelante PML) que consiste en aplicar continuamente una estrategia ambiental, de manera preventiva e integrada a los procesos productivos, productos y a los servicios para así incrementar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente [ONUUDI]. Es factible aplicar la PML a cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios prestados a la sociedad. En los procesos productivos, la PML conlleva al ahorro de materias primas, agua y/o energía, a la eliminación de materias primas tóxicas y peligrosas, y a la reducción, en la fuente de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos, durante el proceso de producción.

Al aplicar la PML en una industria se incrementa la eficiencia productiva, debido a que su aplicación promueve que la empresa haga un uso óptimo de materias primas, agua y energía, entre otros insumos, permitiéndole a esta producir la misma cantidad de productos con una cantidad menor de insumos. El efecto de aplicar la PML es la disminución del costo unitario de producción y al mismo tiempo, la reducción de la cantidad de residuos generados por la compañía. Al necesitar una menor cantidad de insumos para generar la misma cantidad de productos, también se está permitiendo el uso de esos insumos en otras actividades de la empresa o simplemente al dejar de utilizarlas se está ayudando a la preservación de éstos. Inclusive, se produce la reducción tanto de los costos de tratamiento de desechos como de los impactos negativos en el medio ambiente [GTPML05].

Por lo tanto, al incrementar la eficiencia productiva en una empresa se pueden obtener beneficios tanto económicos como ambientales simultáneamente, que pueden solventar las acciones de PML y a la vez mejorar la competitividad de las empresas. Es por esto que la PML debe ser pensada como una estrategia empresarial que al minimizar los daños ambientales y al maximizar los rendimientos económicos, permite que una empresa sea ambiental y económicamente sostenible. Por otro lado los recursos que pudiesen ser empleados para introducir prácticas de PML en una empresa son considerados como una inversión, normalmente de corto plazo, ya que generan retornos económicos y beneficios ambientales simultáneamente.

4.2. Eficiencia energética y PML

Dentro de las prácticas de PML que se deben priorizar se encuentra la llamada EE, que es definida como la habilidad de lograr objetivos de producción, empleando la menor cantidad de energía posible.

La energía, en cualquiera de sus formas, constituye uno de los dos insumos más importantes y comunes en cualquier actividad industrial. Debido a su importancia, el realizar una gestión adecuada de esta es indispensable, no solo porque es necesaria para los procesos productivos y para las actividades auxiliares, sino porque a su vez constituyen por lo general una parte significativa de los costos de una empresa. Una buena gestión de la energía, permite optimizar su consumo de manera ordenada y sistemática, manteniendo o llegando inclusive a incrementar los niveles de producción, lo que deriva en un mayor beneficio económico, una reducción del impacto negativo sobre el medio ambiente y en muchos casos permite incrementar el bienestar y la productividad de los trabajadores [CEEMA06].

Una mayor eficiencia en el uso de los recursos energéticos, además de reducir costos de producción, contribuye a disminuir los niveles de contaminación ambiental desde la fuente primaria de energía hasta el punto final de consumo. Es por esto que al aplicar EE en una industria es posible mitigar el impacto negativo sobre el medio ambiente y a la vez obtener beneficios económicos para esta. Usualmente la EE es evaluada a través de indicadores, que permiten medir que tan bien se está utilizando la energía para producir una unidad de producto, estos pueden adoptar diferentes formas dependiendo de los objetivos buscados por la empresa.

Para que en una empresa sea posible gestionar la energía de manera adecuada, se debe definir una estrategia sobre su uso y establecer los procedimientos necesarios que faciliten su cumplimiento. Dentro de estos procedimientos, tiene especial importancia el registro, procesamiento y análisis de la información energética de la planta. El conocimiento de las cantidades, los flujos y costos permitirá a la empresa llevar un control adecuado que facilitara la toma de decisiones oportunas que conduzcan a optimizar el uso de energía. Si la empresa no es capaz de obtener información de su proceso productivo, será incapaz de realizar mejoras en su gestión.

Para aplicar EE en una empresa, se debe recalcar que las posibilidades de un control adecuado son mayores si el nivel de información es más detallado. Por dar un ejemplo, si una empresa solo tiene un medidor principal de electricidad, la gerencia dispondrá sólo de información global y no podrá discriminar el consumo de los distintos procesos o secciones de la planta y por lo tanto no tendrá la posibilidad de asociar apropiadamente los costos de electricidad. Es por esto mismo que es recomendable que las empresas cuenten con medidores en las secciones y operaciones más importantes, incluyendo la administración.

Otro problema al tratar de implementar EE en las empresas, es que muchas de estas cuentan con registros sobre sus consumos de energía que se limitan a los pagos que realizan por su utilización (facturas de consumo), estos archivos sólo permiten llevar un control del tipo financiero / contable y en ningún caso ofrecen la posibilidad de establecer un vínculo entre el consumo de energía y el nivel de producción. Esa falta de información limita la posibilidad que tienen las empresas para tomar acciones dirigidas a realizar un uso más eficiente de la energía. Puesto que no es suficiente que los datos de consumo obtenidos de las distintas mediciones sean registrados, es necesario que sean convertidos en información práctica, para lo cual es necesario que esta sea tratada y evaluada [CEEMA06].

Es necesario mencionar que la EE no es sólo un desafío técnico para las industrias, en muchos casos con sólo la introducción de una correcta gestión de los sistemas energéticos resulta en importantes ahorros de energía. Es por esto, que la EE implica cualquier medida que permita reducir la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de producto.

Dentro de las medidas de eficiencia se pueden mencionar la consecución de mejoras en los rendimientos de los motores eléctricos, que son en general los que demandan la mayor potencia y que consumen la mayor cantidad de energía eléctrica en una industria, por medio de la disminución de pérdidas innecesarias de energía que provocan que estos funciones con una eficiencia inferior a lo normal.

Para esto se trabaja con factores como control de la temperatura de funcionamiento de los motores, eliminación de desequilibrios de tensiones entre fases y con un control de los motores instalados (que no trabajen sobre o sub dimensionados). Otra de las medidas implementadas es el uso de motores de alta eficiencia, que si bien pueden requerir una mayor inversión en comparación con motores estándares, la inversión en la adquisición de estos es recuperable con el ahorro de energía eléctrica, pudiendo variar en un periodo de seis meses a tres años, dependiendo principalmente del número de horas de uso y de la potencia del motor.

De acuerdo a la materia de interés para el presente trabajo de titulación se procederá a explicar el marco teórico a utilizar correspondiente a las áreas a investigar en Tricolor S.A., siendo estos el sector de motores y el sector de iluminación.

4.3. Motores eléctricos

Motor eléctrico es “una máquina rotatoria destinada a convertir energía eléctrica en energía mecánica que se emplea para poner en movimiento el mecanismo del equipo en el que se instale” [Mora03].

En general, “el funcionamiento de un motor, se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente eléctrica y la posibilidad de crear a partir de ellas determinadas fuerzas de atracción y repulsión, encargadas de actuar sobre un eje y partir de esto generar un movimiento de rotación que es transmitido al exterior por medio de un eje o flecha para accionar equipos mecánicos” [Chapman00]. La potencia de salida mecánica de un motor está definida por el torque y la velocidad. El torque se refiere al equivalente de una fuerza por distancia que es capaz de ejercer un motor en cada giro y la velocidad es la cantidad de veces que gira el eje del motor en un minuto. Al igual que todas las máquinas eléctricas, un motor eléctrico (véase figura 4.1) está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor) [PEER10].

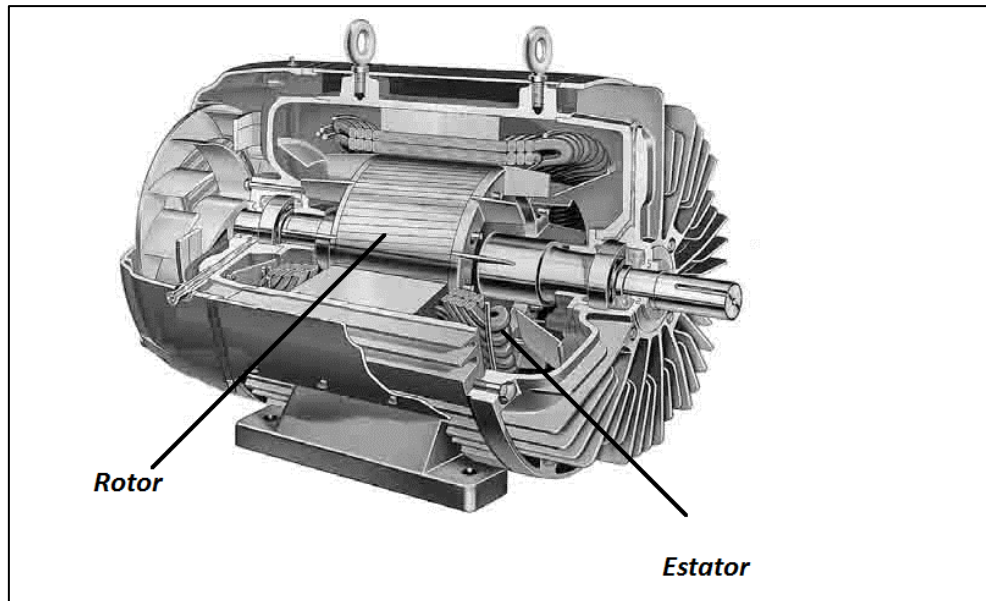


Figura 4.1. Motor eléctrico, fuente MDM Webcast (2011).

4.3.1. Componentes de un motor eléctrico

1. **Estator:** En este se encuentran los elementos magnéticos del motor, siendo estos, polos magnéticos (imanes) y un embobinado de alambres de cobre.

2. **Rotor móvil:** Este es un elemento que gira a gran velocidad y se apoya en cojinetes de rodamiento. Su velocidad de rotación en revoluciones por minuto es inversamente proporcional al número de polos magnéticos del estator. Dependiendo del diseño del motor, puede estar formado por barras conductoras o devanados de cobre.

Además de estas partes, existen otros elementos importantes en un motor eléctrico (ver figura 4.2).

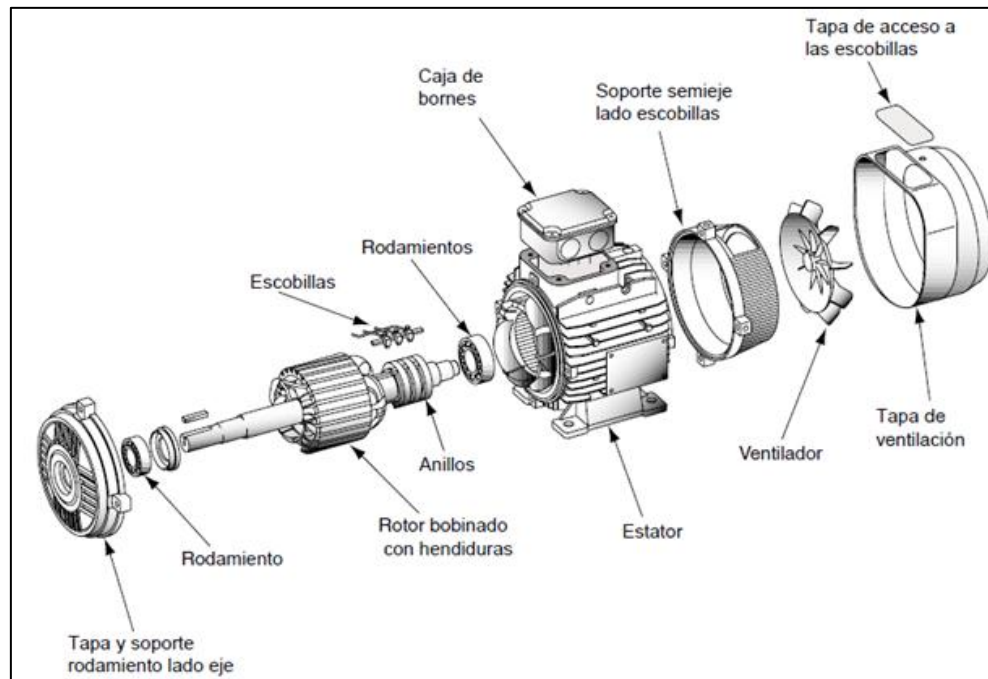


Figura 4.2. Despiece de un motor eléctrico, fuente cuaderno técnico Schneider Electric.

3. **Carcasa:** Es la parte externa del motor y puede tener distintas formas según la aplicación mecánica que éste vaya a tener. En su exterior las aletas de enfriamiento del motor.

4. **Entrehierro:** Corresponde al espacio uniforme comprendido entre el rotor y estator.

5. Otros elementos complementarios son:

- Caja de conexiones
- Ventilador
- Rodamientos
- Base
- Tapas
- Placa de datos

4.3.2. Tipos de motores

Existen numerosas formas de clasificarlos, puestos que son muchos los tipos de motores eléctricos y variadas sus aplicaciones (Figura 4.3). Los motores eléctricos más comunes son:

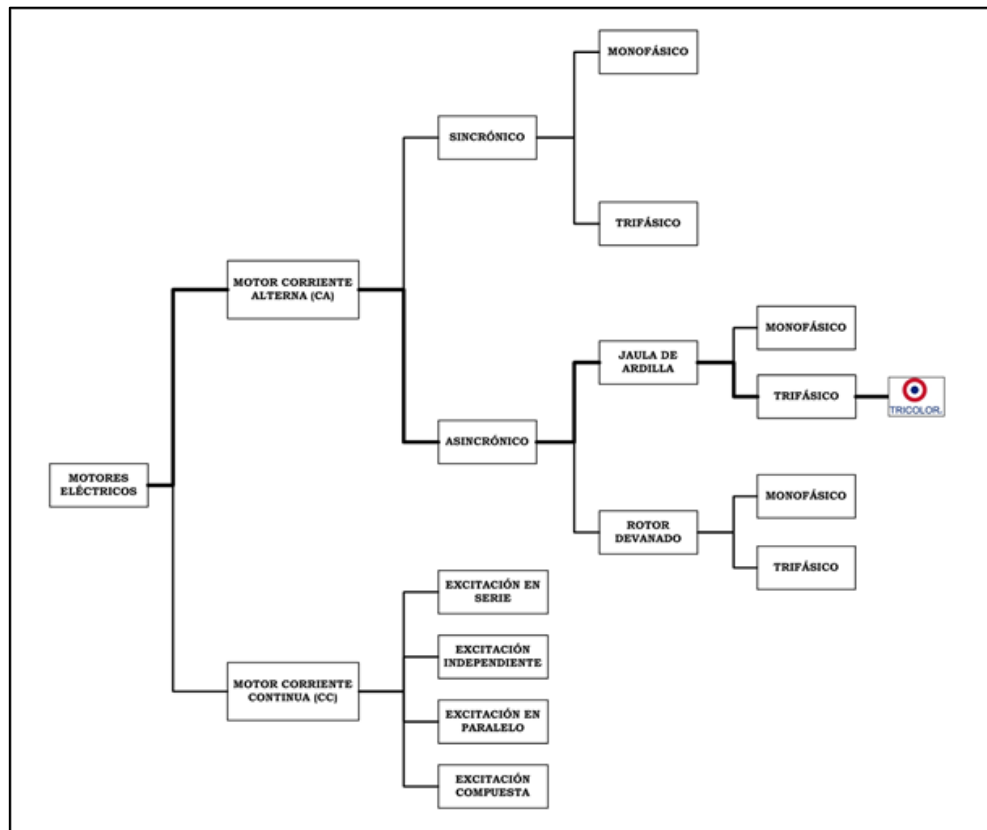


Figura 4.3. Clasificación motores eléctricos según el tipo de corriente utilizada para su alimentación, fuente catálogo motores WEG.

a. Motores de corriente directa o continua: Estos presentan la ventaja de funcionar con una velocidad de rotación ajustable entre amplios límites, lo que los hace necesarios en ciertos tipos de aplicaciones en las que se precisa un ajuste fino de la velocidad y el torque.

No obstante, los motores de corriente continua necesitan una alimentación eléctrica diferente a la que suministran las empresas de distribución, por lo que utilizan equipos adicionales como rectificadores de potencia, los que convierten la corriente alterna común en continua, en ocasiones además de estos se requiere la instalación de baterías de reserva, generando un incremento en los costos iniciales de este tipo de motor.

El uso de estos motores es restringido a casos especiales en que los beneficios de su operación compensen su elevado costo de instalación [PEER10].

b. Motores de corriente alterna: Estos reciben la corriente alterna de la empresa de distribución eléctrica, la gran mayoría de los equipos que requieren de un motor eléctrico utilizan los de corriente alterna, preferentemente trifásicos, aunque existen muchos de baja potencia que reciben sólo una fase eléctrica, denominados monofásicos.

Estos motores también pueden variar la velocidad y torque que entregan a su equipo acoplado, sin embargo, para ello necesitan ser instalados en combinación con un regulador electrónico de velocidad variable, también denominados drivers, variadores de frecuencia o convertidores de frecuencia variable. Al presentar tal ventaja, estos motores integrados con un variador de frecuencia están reemplazando gradualmente a los motores de corriente directa [PEER10].

Motores de corriente alterna

Los motores de corriente alterna se clasifican en sincrónicos y asincrónicos. En los sincrónicos el eje gira a la misma velocidad que lo hace el campo magnético, mientras que en los asincrónicos el eje gira a una velocidad un poco menor a la del campo magnético.

Los motores asincrónicos (o de inducción) basan su funcionamiento en la creación de un campo magnético giratorio en el entrehierro debido a la circulación de corriente alterna por los devanados trifásicos y la influencia de los polos magnéticos del estator.

Son los motores más utilizados, puesto la distribución de energía eléctrica es hecha normalmente en corriente alterna. La velocidad a la que gira un motor eléctrico es determinada por el número de polos magnéticos, a mayor número de polos el motor revolucionara más lentamente.

En la tabla 4.1 se indican la velocidad de giro del campo magnético en función del número de polos para una frecuencia de alimentación de 50 Hertz [PEER10].

Tabla 4.1. Tabla velocidad en motores eléctricos en función de su número de polos

Número de polos	Velocidad (rpm)
2	3000
4	1500
6	1000
8	750

Fuente: Máquinas eléctricas, Jesús Fraile Mora, 2003

4.3.3. Motor de inducción trifásico

El motor a inducción trifásico está compuesto fundamentalmente de dos partes, un rotor que puede ser de dos tipos (jaula de ardilla o bobinado) y un estator en el que se encuentran las bobinas inductoras, ambos separados por un pequeño espacio de aire denominado entrehierro.

Este tipo de motores básicamente es una máquina polifásica de corriente alterna conectada a una red eléctrica por el estator. En el caso que concierne al presente trabajo los motores corresponden a motores de inducción con rotor de jaula de ardilla trifásico, cuyo rotor está construido por un conjunto de barras no aisladas o interconectadas por anillos de corto circuito. Lo que caracteriza a este motor de inducción es que sólo el estator es conectado a la red de alimentación por lo que el rotor no es alimentado externamente y las corrientes que circulan en él son inducidas electromagnéticamente por el estator.

La interacción entre el campo del inductor y las corrientes del inducido produce un par desde velocidad nula del rotor hacia adelante. La velocidad del rotor en la que las intensidades de los devanados del secundario son nulas es conocida como velocidad síncrona.

4.3.4. Eficiencia de un motor eléctrico

La eficiencia de un motor eléctrico es la habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea en potencia mecánica útil. Se obtiene con la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada (1). Este es el concepto más importante desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor [PEER09₁].

La eficiencia es definida de las siguientes maneras:

$$(1) \quad \text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\text{Potencia eléctrica que entra}}$$

$$(2) \quad \text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia eléctrica que entra} - \text{Pérdidas}}{\text{Potencia eléctrica que entra}}$$

El valor más alto de eficiencia es la unidad [1], en el caso de que las pérdidas fueran cero como se expresa en la segunda ecuación (2).

Los fabricantes de motores buscan continuamente generar innovaciones tecnológicas en busca de reducir al máximo posibles las pérdidas, empleando materiales de mejor calidad y un proceso de mejora continua en la fabricación.

Según su eficiencia, los motores eléctricos pueden ser clasificados en:

1. Motores de eficiencia estándar (en lo adelante IE1): estos no consideran la eficiencia como la principal cualidad, privilegiando la funcionalidad y el precio del motor.

2. Motor eficiencia mejorada (en lo adelante IE2): surgen en la década de los noventa en busca de contrarrestar los altos precios de la energía en vista de la necesidad de generar un uso eficiente y racional de la energía.

3. Motor alta eficiencia (en lo adelante IE3): presentan una eficiencia aún más elevada que la clasificación anterior por medio de un perfeccionamiento en su proceso de manufactura, utilizando materiales de alta calidad, lo cual ha implicado que su costo sea más elevado.

4.3.5. Métodos para estimar la eficiencia de un motor eléctrico

La eficiencia de un motor eléctrico se estima a partir de la medición de variables eléctricas del motor bajo condiciones normales de operación. Existen distintos métodos para estimar la eficiencia de un motor, dependiendo de su nivel de exactitud y grado de invasividad que producen las mediciones sobre el proceso, dentro de los que se pueden mencionar:

a) Método de la lectura del dato de placa: Se basa que a partir de los datos de placa del motor se determina o lee la eficiencia y con la lectura de la potencia de entrada se determina la potencia de salida. Esta acción no es invasiva y tampoco requiere sacar el motor de operación ni de equipos adicionales, pero parte de suponer

que la eficiencia es constante a cualquier estado de carga, e igual al dato de la placa. En motores medios y grandes el error cometido no es muy grande ya que la curva de eficiencia de estos es prácticamente plana, en cambio para motores menores a 5 kW la eficiencia baja apreciablemente con la carga y el error cometido puede ser grande, sobre todo si el motor está sobrecargado.

b) Método de la potencia de entrada: Consiste en determinar la carga a partir de la medición de la potencia de entrada. Con este factor y la curva de eficiencia proporcionada por el fabricante para distintos factores de carga se obtiene la eficiencia del motor en estudio. Este método no es invasivo ya solo es necesario la medición del voltaje y la intensidad de corriente para la obtención del factor de potencia (en lo adelante FP) y la potencia de entrada del motor en estudio. Para compensar los posibles errores producto de las mediciones y estimaciones de ciertos parámetros existen distintos factores de corrección de la eficiencia.

c) Método del deslizamiento: Este supone que el estado de carga es proporcional a la relación del deslizamiento medido y el deslizamiento nominal. La velocidad se determina mediante un tacómetro. Su nivel de invasividad es bajo, pues funciona proyectando un haz de luz sobre el eje de un motor y conectándolo a la misma red de alimentación o mediante baterías. Sin embargo por este método es necesario sacar al motor de servicio sólo para hacerle una marca en el eje. Para la medición de la velocidad es necesario disponer de un instrumento o comprarlo, siendo su precio superior al de un amperímetro de gancho. Por otro lado se puede cometer un error apreciable debido a que la velocidad de placa del motor tiene una tolerancia de más o menos 20% de la velocidad sincrónica y la velocidad a plena carga.

d) Método de las corrientes: Propone que el estado de carga es proporcional a la relación de la corriente medida y la corriente nominal. Sirve para estados de carga superiores al 50% y plena carga con porcentaje de desbalances que no superen el 1%. Un amperímetro de gancho puede servir para determinar la corriente y la tensión de trabajo del motor. Este método es poco invasivo, pero los instrumentos pueden tener un error de hasta un 0,5%.

e) Método de la segregación de las pérdidas: Se determina la magnitud de las pérdidas totales a partir de la suma de todas las pérdidas que tienen lugar en el motor durante la conversión electromecánica.

f) Método del torque en el eje: Es el procedimiento más directo y da los resultados más precisos en la evaluación de la eficiencia. Sin embargo es altamente invasivo y requiere de un acoplamiento especial para determinar la potencia en el eje. Además su precisión depende de sensores de torque, alineamiento, entre otros.

g) Método del circuito equivalente: Se basa en la solución del circuito equivalente de estado estable, deducido en la modelación de la máquina asíncrona. Su ventaja fundamental radica en que la eficiencia y el comportamiento del motor se pueden determinar para diferentes estados de carga. No es invasivo, su precisión depende de la exactitud de medición o estimación de los parámetros. Para desbalances de tensión se requiere un circuito para la secuencia positiva y uno de secuencia negativa.

h) Medición del consumo mediante un analizador de redes: Es el método más exacto para determinar la potencia de entrada del motor. También puede leerse la corriente y la potencia reactiva, determinando el FP. Es poco invasivo y a menos que el instrumento esté conectado permanentemente, es necesario detener el equipo para su instalación. Sin embargo este instrumento es relativamente caro.

i) Realización de ensayos sin carga: Este método necesita desacoplar el motor y conectarle el instrumento de medición para llevar a cabo los ensayos. A partir de estos y en combinación con otras acciones se puede determinar el consumo del motor y la potencia de entrada a la carga, este método es difícil de aplicar en condiciones de campo.

Los métodos con mayor grado de invasión son los más exactos en el cálculo de la eficiencia del motor, sin embargo tienen un elevado costo, ya que se debe contar con un laboratorio con instalaciones especiales además de equipos de medición demasiado costosos. Debido a esto se han desarrollado diversos métodos de ensayo y cálculo de factores de corrección para estimar la eficiencia de un motor. Por otro lado también se han desarrollado numerosos programas para estimar la eficiencia de un motor.

Los métodos menos invasivos determinan la fracción de la potencia nominal a la que opera un motor con carga y en base a esta se calcula la eficiencia del motor eléctrico, sin embargo al tener menor grado de invasividad se corre el riesgo de obtener resultados menos exactos debidos a las estimaciones que se debiesen realizar dependiendo del método ocupado.

Para estimar la eficiencia de los motores eléctricos que operan en la PPL se analizaron tanto las ventajas como desventajas de cada uno de los métodos ya mencionados (ver tabla 4.2) además de la revisión de la bibliografía disponible para cada uno de ellos.

Tabla 4.2. Ventajas y desventajas de los métodos para estimar la eficiencia de un motor eléctrico

Método	Ventajas	Desventajas
Lectura del dato de placa	No es invasivo Menor cantidad de lecturas No requiere sacar al motor de operación	Considera la eficiencia constante a distintos estados de carga
Potencia de entrada	No es invasivo No es necesario medir la potencia de entrada ya que se puede estimar Para compensar los errores de las estimaciones existen factores de corrección	Se requiere la curva de eficiencia proporcionada por los fabricantes Posibles errores como consecuencia de trabajar con estimaciones
Deslizamiento	Bajo nivel de invasividad Mayor posibilidad de mediciones	Es necesario sacar el motor de operación para hacerle una marca en el eje Es necesario disponer de un tacómetro, siendo su precio superior al de un amperímetro de gancho
Corrientes	Poco invasivo Se requiere sólo un amperímetro de gancho	Sirve para estados de carga superiores al 50%
Segregación de las pérdidas	Es posible obtener las pérdidas que ocurren mediante la conversión electromecánica	Mayor tiempo en mediciones Invasión del proceso productivo
Torque en el eje	Resultados más precisos en la evaluación de la eficiencia	Altamente invasivo
Circuito equivalente	Se puede determinar la eficiencia para diferentes estados de carga No es invasivo	Su precisión depende de la exactitud de la medición
Medición del consumo mediante un analizador de redes	Método más exacto para determinar la potencia de entrada del motor Es poco invasivo, sólo si el instrumento está conectado permanentemente	Instrumento de medición es más caro
Ensayos sin carga	Exacto en la determinación de la potencia de entrada del motor	Es necesario sacar el motor de operación y desacoplarlo de su equipo Es necesario contar con un laboratorio para realizar los ensayos Requiere mucho tiempo

Fuente: Elaboración propia

Una vez reunida toda esta información, se presentó a la empresa para así determinar de manera conjunta el método a utilizar, siendo seleccionado uno de baja invasividad, que permite la utilización de un instrumento de medición de bajo costo, con una menor exactitud en el cálculo de la eficiencia que puede ser ajustada por medio de factores de corrección. Este método corresponde al de la potencia de entrada, el cual se procede a explicar a continuación.

4.3.6. Método de la potencia de entrada

Consiste en determinar la el factor de carga (en lo adelante FC) a partir de la medición de la potencia de entrada. Con este valor y la curva de eficiencia proporcionada por el fabricante, se obtiene la eficiencia del motor en estudio.

La potencia de entrada puede ser obtenida directamente de un analizador de potencia o puede ser calculada a partir de las siguientes ecuaciones:

$$(3) \quad P_m = \frac{V \times I \times FP \times \sqrt{3}}{1000}$$

Dónde:

P_m = Potencia medida (kW)

V = Voltaje medido (V)

I = Corriente medida (A)

FP = Factor de potencia (adimensional)

La potencia de entrada nominal a plena carga se calcula como:

$$(4) \quad P_{ne} = \frac{P_n}{E_n}$$

Dónde:

P_{ne} = Potencia nominal de entrada (kW)

P_n = Potencia nominal (kW)

E_n = Eficiencia nominal (adimensional)

La carga se obtiene como:

$$(5) \quad \text{Carga} = \frac{P_m}{P_{ne}} \times 100\%$$

Dónde:

Carga = Potencia de salida como % de la potencia nominal (adimensional)

P_m = Potencia medida (kW)

P_{ne} = Potencia nominal de entrada (kW)

Con la obtención de la aproximación de la carga mecánica, calculada como la razón entre la potencia mecánica en el eje del motor en operación y la potencia nominal, es posible determinar la eficiencia a partir de la curva de eficiencia correspondiente al motor considerado, la cual debe ser sometida a factores de corrección. En la figura 4.4 es posible observar curvas de eficiencia a distintos niveles de carga según su potencia nominal en HP [PRIEN09].

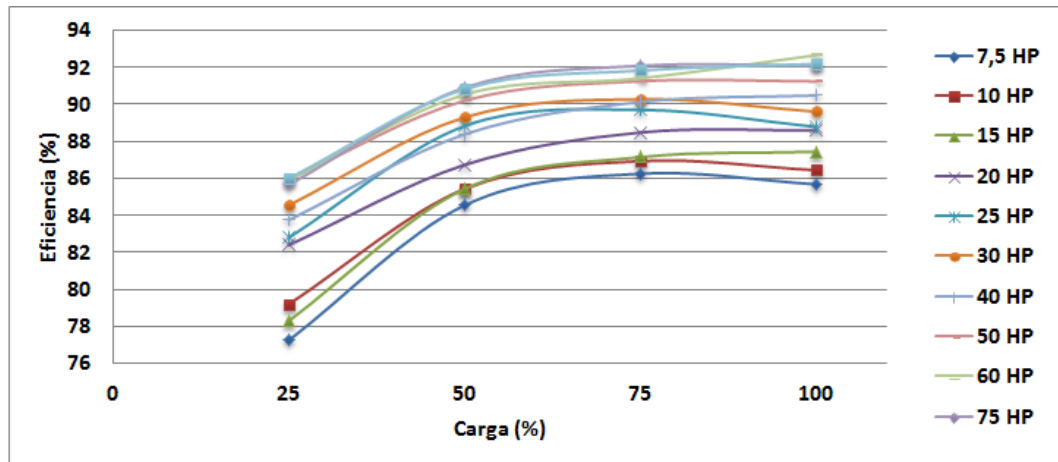


Figura 4.4. Curvas eficiencia motores eléctricos a distintos niveles de carga, fuente catálogo WEG.

4.3.7. Eficiencia de un motor eléctrico en condiciones reales de operación

Un motor eléctrico en condiciones reales de operación está sometido a muchos factores que pueden dañarlo y reducir su tiempo de vida, dentro de estos factores se pueden mencionar desbalances de voltaje, pérdida de una fase, inversión de secuencia, bajo o alto voltaje, entre otros.

Como el método de la potencia de entrada trabaja en base a estimaciones con condiciones óptimas de operación, tiene una menor exactitud en el cálculo de la eficiencia operacional de los motores eléctricos al omitir la influencia de estos factores en el funcionamiento del motor eléctrico, es por esta razón que existen factores de corrección que permiten obtener un valor más exacto, realizando el cálculo de la eficiencia del motor ajustada a las condiciones de operación, mediante la siguiente ecuación:

$$(6) \quad A\eta_{\text{Ajustada}} = \eta_{\text{Actual}} \times A_V \times A_{DV} \times A_R \times A_{FC}$$

Dónde:

η_{Ajustada} = Eficiencia real de operación, evaluada al FC actual y ajustada por las condiciones de operación

η_{Actual} = Eficiencia del motor evaluada sólo a partir de las condiciones de carga actual, se determina en base a condiciones óptimas de operación

A_V = Ajuste por variación de tensión

A_{DV} = Ajuste por desbalances de tensión

A_R = Ajuste por rebobinado

A_{FC} = Ajuste por FC

Los factores de ajuste se determinan de manera individual y al ser aplicados entregan una aproximación más real de la eficiencia a la cual está operando el motor. Cabe mencionar que en algunas ocasiones es necesario aplicar más de uno de los factores de ajuste y que existen una mayor cantidad de factores u fórmulas de ajuste según las características del lugar de operación del motor [FIDE08].

Ajuste por variación de tensión

El voltaje tiene un efecto importante sobre el funcionamiento de un motor, ya que son diseñados para funcionar con una tolerancia con respecto a su variación de voltaje de $\pm 10\%$ con respecto a su valor nominal.

Una disminución en el voltaje incrementa la temperatura lo que reduce enormemente el aislamiento y la vida del motor, en cambio un aumento en el voltaje disminuye considerablemente el FP, siendo que con una disminución del voltaje resulta en un incremento en el FP. Las variaciones de voltaje afectan el deslizamiento del motor, por ejemplo, un incremento de 10% en voltaje resulta en una reducción del deslizamiento de aproximadamente 17% y una reducción en el voltaje de 10% podría incrementar el deslizamiento alrededor de 21%, además de todo esto tanto un incremento o decremento en el voltaje disminuye la eficiencia del motor.

Para calcular el ajuste por variación de tensión se debe obtener la variación porcentual de la tensión que se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$(7) \quad \text{Variación tensión (\%)} = \left[\frac{\text{Tensión Promedio Medida}}{\text{Tensión Nominal}} - 1 \right] \times 100 (\%)$$

Una vez que se obtiene este valor se determina factor de cambio en la eficiencia con la ayuda de la figura 4.5.

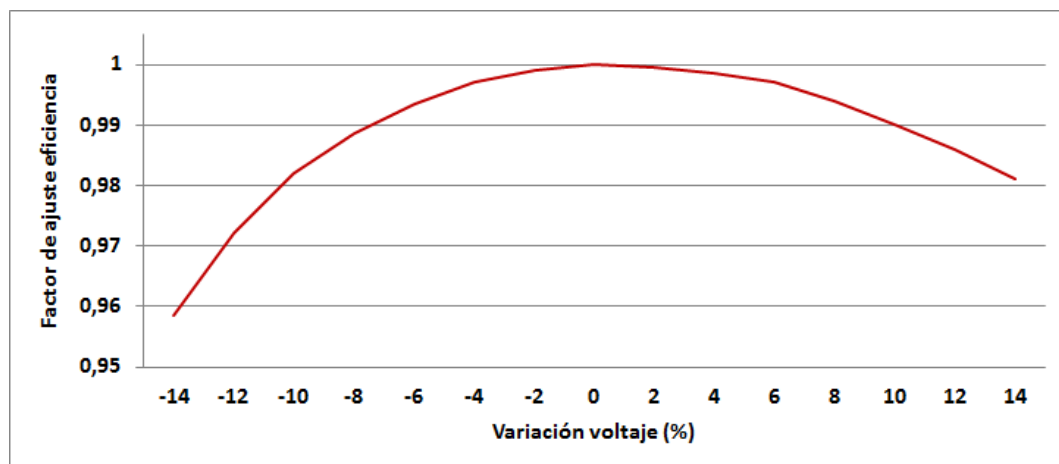


Figura 4.5. Curva factor de ajuste de la eficiencia con respecto a su variación de voltaje, fuente manual técnico de motores eléctricos del Programa de Eficiencia Energética Regional en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica (PEER).

Ajuste por desbalances de tensión

En un motor trifásico es indispensable que los voltajes entre líneas o fases estén bien balanceados, ya que un pequeño desbalanceo de voltaje tiene como resultado un desbalanceo de corrientes, lo que provoca un incremento en la temperatura sobretodo de la fase que recibe el menor voltaje, ocasionando la mayoría de fallas en motores. Para calcular el factor de ajuste en la capacidad de funcionamiento de un motor producto de un desbalance de tensión, se debe comenzar por calcular el % de desbalances de voltaje al que funciona el equipo, calculándose por medio de la siguiente ecuación:

$$(8) \quad \% DV = \frac{\text{Max} [|V_{F1} - V_{Prom}|; |V_{F2} - V_{Prom}|; |V_{F3} - V_{Prom}|]}{V_{Prom}}$$

Dónde:

$$(9) \quad V_{Prom} = \frac{V_{F1} + V_{F2} + V_{F3}}{3}$$

$V_{F1} / V_{F2} / V_{F3}$ = Voltaje fase 1 / Voltaje fase 2 / Voltaje fase 3

Una vez obtenido el porcentaje de desbalances de voltaje se determina factor de ajuste según la figura 4.6.

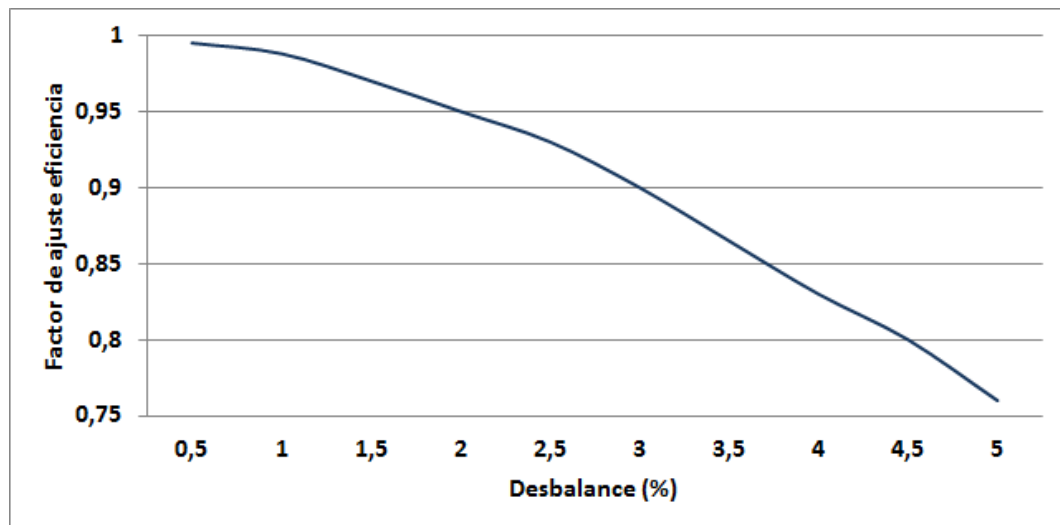


Figura 4.6. Curva factor de ajuste de la eficiencia con respecto a desbalances de voltaje, fuente manual técnico de motores eléctricos PEER.

Ajuste por rebobinado

Cuando un motor falla se tiene la alternativa de someterlo a un rebobinado, sin embargo si este no se realiza en las condiciones adecuadas se puede provocar una reducción promedio de la eficiencia de un 4 a 6%.

El ajuste que considera este deterioro en la capacidad producto, como consecuencia de los rebobinados en un motor, se determina según la ecuación que se presenta a continuación, representada en la Figura 4.7.

$$(10) \quad FC = -0,03 R + 1$$

Dónde:

R = N° de rebobinados

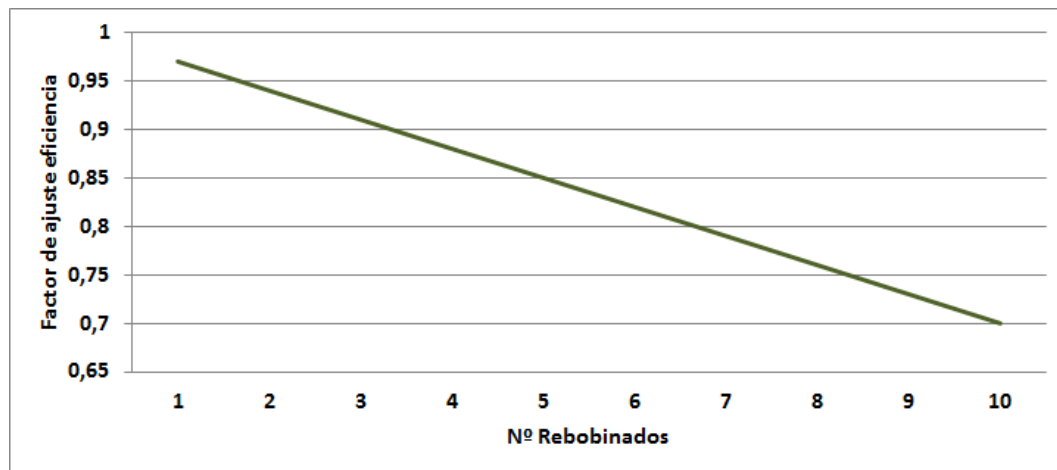


Figura 4.7. Curva factor de ajuste de la eficiencia según su número de rebobinados, fuente manual técnico de motores eléctricos PEER.

Ajuste por factor de carga

La potencia nominal de un motor eléctrico indica la potencia mecánica de salida que es capaz de entregar el motor. El factor de carga, es un índice que indica la potencia que entrega el motor, cuando se encuentra ya en operación, con relación a la que puede entregar y se obtiene mediante la ecuación:

$$(11) \quad FC = \frac{P_m}{P_n} \times 100$$

Dónde:

P_m = Potencia medida (kW)

P_n = Potencia nominal (kW)

La mayoría de los motores no trabajan al 100% de su capacidad, de hecho es preferible que no lo hagan, sin embargo al ser un índice que nos indica el porcentaje de la capacidad real del motor que está siendo utilizado, lo ideal es que se compren para trabajar como mínimo a un 75% de su capacidad, ya que al trabajar a capacidades menores no se hace un correcto uso del equipo y se disminuye su eficiencia.

Una vez determinado el FC del motor, se puede obtener el factor de ajuste para la eficiencia según la figura 4.8.

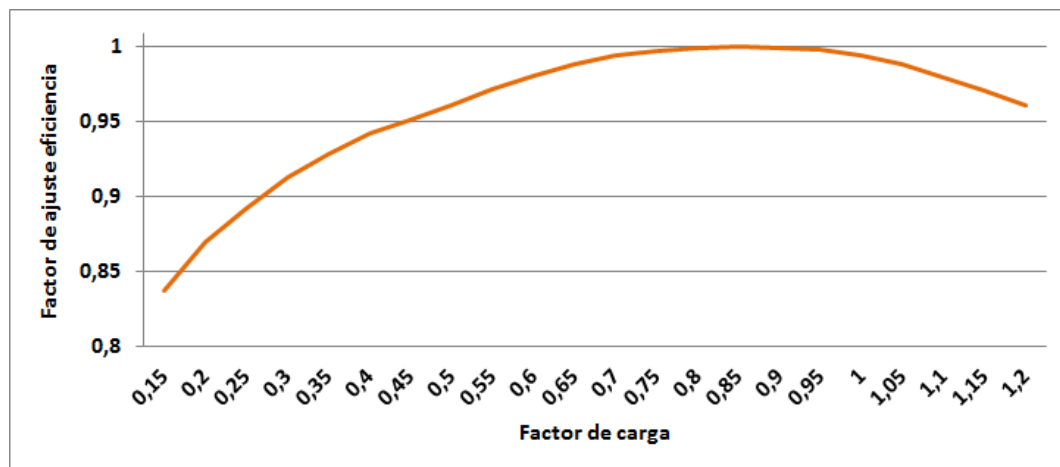


Figura 4.8. Curva factor de ajuste de la eficiencia según su número de rebobinados, fuente manual técnico de motores eléctricos PEER.

4.4. Iluminación

La luz es una forma de energía al igual que las ondas de radio, los rayos X o gammas. La luz artificial tiene como objetivo suministrar una iluminación adecuada en aquellos lugares al aire libre o cerrado donde se desarrollan actividades de todo tipo.

El objetivo fundamental de la iluminación es proporcionar un alumbrado energéticamente eficiente que entregue constantemente una visibilidad de suficiente calidad para garantizar la productividad y seguridad de los trabajadores. Para cualquier actividad es imprescindible el contar con un adecuado nivel de iluminación, sin

embargo en la mayoría de las industrias se le resta importancia al alumbrado, ya que el consumo energético imputable a la iluminación no es de gran importancia al ser comparado con otros consumos [PEER09₂].

Por lo tanto se hace necesario comprender y estudiar los conceptos fundamentales de la luminotecnica que se presentan a continuación.

4.4.1. Conceptos básicos

Luz: Parte del espectro electromagnético capaz de ser percibida por el ojo humano, en el rango de 380-780 (nm), de estas longitudes de onda la primera corresponde al color violeta y la segunda al color rojo como se puede observar en la figura 4.9.

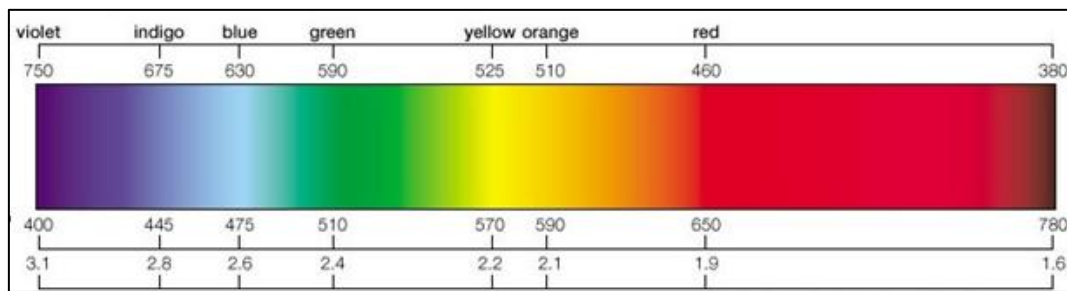


Figura 4.9. Clasificación del espectro visible, fuente www.energyefficiencyasia.org

Luminotecnica: Es la ciencia que estudia las formas de producción de luz, así como su control y aplicación.

Flujo Luminoso: Cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz por unidad de tiempo, en todas las direcciones. Su unidad es el lumen (lm) y su expresión viene dada por la siguiente ecuación:

$$(12) \quad \phi_L = \frac{dQ_L}{dt}$$

Dónde:

ϕ_L = Flujo luminoso (lm)

$\frac{dQ_L}{dt}$ = Cantidad de energía luminosa radiada por unidad de tiempo

El flujo luminoso también puede definirse como potencia luminosa.

Rendimiento luminoso (Eficacia luminosa): Indica el flujo luminoso que emite una fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Su unidad el lumen/vatio (lm/W) y su ecuación es:

$$(13) \quad \epsilon = \frac{\phi_L}{P}$$

Dónde:

ϵ = Eficacia luminosa (lm/W)

ϕ_L = Flujo luminoso (lm)

P = Potencia activa (W)

Intensidad luminosa: Relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa misma dirección. Su unidad es la candela (cd) y se representa por la siguiente ecuación:

$$(14) \quad I = \frac{\phi_L}{\omega}$$

Dónde:

I = Intensidad luminosa (cd)

ϕ_L = Flujo luminoso (lm)

ω = Ángulo sólido (sr)

La intensidad luminosa no se distribuye por igual en los espacios, debido a la forma de las ampollas de las lámparas, los casquillos, entre otros que influyen en eso. Por este motivo, para hallar la distribución de luz emitida por una fuente luminosa se pueden representar gráficamente dicha distribución mediante las curvas

fotométricas, las cuales se obtienen en laboratorios y sus características dependen del tipo de lámpara.

Nivel de Iluminación (Iluminancia): Relación entre el flujo luminoso y el área de superficie en la que índice dicho flujo. Su unidad es el lux y se expresa por:

$$(15) \quad E = \frac{\Phi_L}{S}$$

Dónde:

E = Iluminancia (lux)

Φ_L = Flujo luminoso (lm)

S = Superficie (m²)

El luxómetro es el aparato que se usa para medir el nivel de iluminación.

Iluminancia promedio (E_{med}): Relación entre la sumatoria de las iluminancias calculadas en cada punto considerado entre el número de dichos puntos, su ecuación es:

$$(16) \quad E_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{np} E_{p_i}}{np}$$

Dónde:

E_{med} = Iluminancia media (lux)

E_{p_i} = Iluminancia en el punto i-ésimo

np = Número de puntos considerados

La iluminancia promedio es una medida importante que hay que considerar en el momento de realizar cualquier proyecto de iluminación.

Luminancia: Relación entre la intensidad luminosa y la superficie proyectada verticalmente a la dirección de irradiación. Se trata de la verdadera medida de la sensación de iluminación de un objeto.

Temperatura de color (Tc): La temperatura de color de una fuente lumínica es medida por su apariencia cromática y está basada en el principio de que cuando todos los objetos aumentan su temperatura, emiten luz. El color de esta luz cambia dependiendo del incremento de la temperatura expresada en grados Kelvin (°K), en la tabla 4.3 se muestran los colores de luz según su clasificación.

Tabla 4.3. Tabla clasificación de la apariencia del color según su temperatura

Color de luz	Temperatura de color (°K)	Apariencia de color
Amarillento	1800-2500	Cálido
Blanco cálido	2600-3000	
Blanco neutral	3100-4100	Intermedio
Blanco frío	4300-8000	Frío
Blanco luz día	6100-6500	

Fuente: Iluminación Interior e Industrial, Indalux, 2002.

Índice del Rendimiento del Color (IRC): Índice que indica el nivel o el grado de precisión que un objeto iluminado puede reproducir su propio color real, bajo la influencia de una fuente de luz. Cuando la luz incide sobre un cuerpo y éste genera un color igual o idéntico al propio, entonces su IRC tiene un valor cercano o igual a 100. Para la clasificación (Ver tabla 4.4) de distintas fuentes de luz en base a su IRC se trabaja en base a la lámpara incandescente ya que esta representa un IRC de 100 que es considerado muy bueno [PEER09₂].

Tabla 4.4. Tabla clasificación del IRC según su grado y apariencia

Grado IRC	IRC
1	$IRC \geq 75$
2	$75 \leq IRC \leq 85$
3	$40 \leq IRC \leq 75$
4	$IRC \leq 40$

Fuente: Iluminación Interior e Industrial, Indalux, 2002.

4.4.2. Fuentes de luz

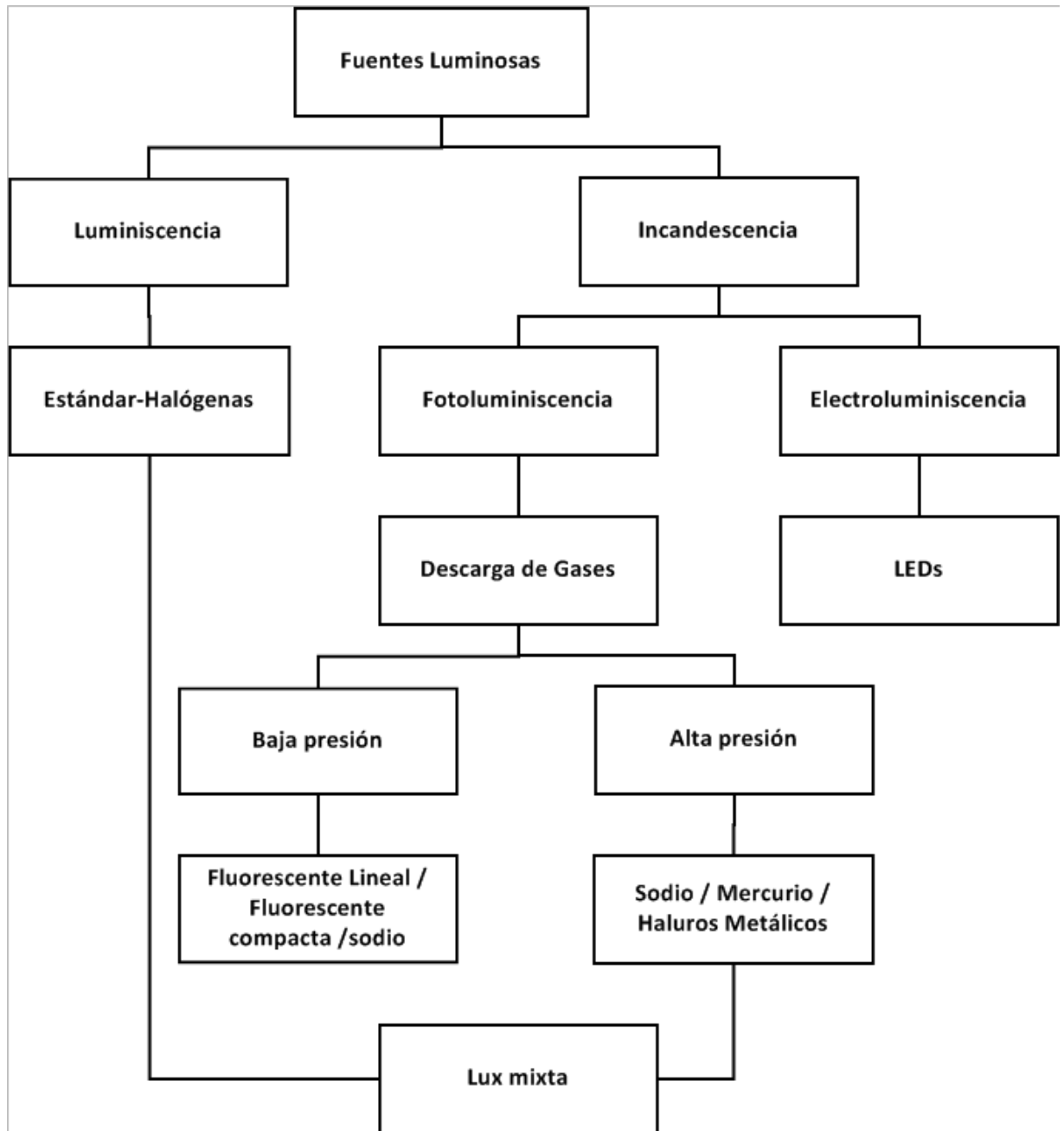


Figura 4.10. Clasificación general de las fuentes luminosas, elaboración propia.

Actualmente existen muchas formas y variedades de fuentes para generar luz para las distintas aplicaciones necesarias en la industria. Todas las fuentes de luz artificial implican la conversión de alguna forma de energía en radiación electromagnética, basándose principalmente en la excitación de átomos y luego la emisión de fotones. Las lámparas son fuentes luminosas artificiales que cuentan con una gran variedad de tipos cada una de ella con sus características específicas. En la figura 4.10 se puede observar la clasificación de las fuentes de luz artificial de acuerdo a su forma de producir la luz [PEER09₂].

Por la forma de producir radiación luminosa las lámparas se pueden clasificar por procesos de incandescencia y luminiscencia, la cual se divide principalmente en descarga de gases, fotoluminiscencia y electromagnetismo. Los tipos de lámparas de uso más frecuente en la industria son:

a. Lámpara incandescente: Es la fuente de luz usada de manera más común en la iluminación residencial. En esta fuente la luz se produce por el calentamiento de un alambre o filamento que alcanza la incandescencia por medio del flujo de corriente que circula a través de él (ver figura 4.11).

Su corta vida y baja eficacia (lúmenes por watt), limita su uso principalmente a iluminación comercial de decoración y residencial. La eficacia varía con la potencia y el tipo de filamento, pero generalmente oscila entre 15 y 25 lúmenes por watt para lámparas de servicio general.

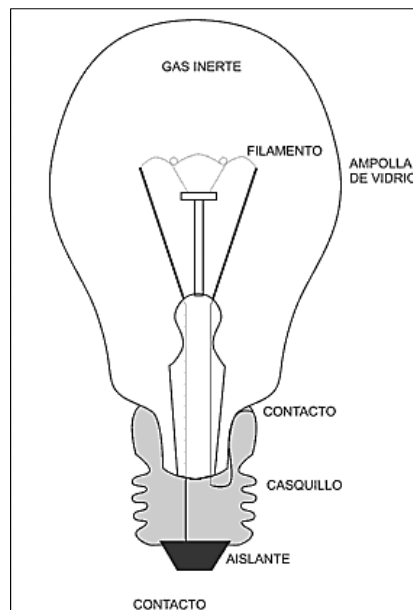


Figura 4.11. Lámpara incandescente, fuente c.eléctricos.

La fuente incandescente produce, un rendimiento de temperatura de color altamente aceptada. Suele ser más conveniente que otras fuentes de luz ya que puede ser usada directamente en la línea de corriente, por lo que no requiere balastro y puede alterarse la intensidad utilizando equipo simple. Es posible encontrarla en diferentes tamaños de foco, formas y distribuciones, para añadir un toque decorativo a un área.

b. Lámpara fluorescente: Produce luz al activar las sustancias químicas que la componen, las cuales son llamados fósforos (aunque generalmente no contienen el elemento químico fósforo) seleccionados en la superficie interna del foco con energía ultravioleta que es generada por un arco de mercurio. Por las características de un arco gaseoso, se necesita un balastro para iniciar y operar lámparas fluorescentes (ver figura 4.12)

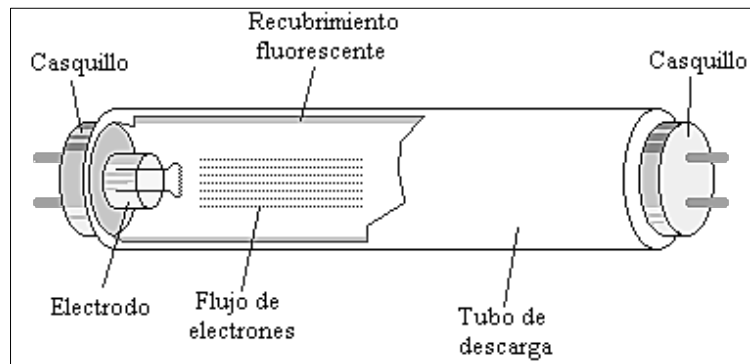


Figura 4.12. Lámpara fluorescente, fuente c.eléctricos.

Las ventajas de esta fuente de luz son su eficacia mejorada y una vida más larga que la de las lámparas incandescentes. Las eficacias de estas lámparas oscilan entre los 45 y los 90 lúmenes por watt. Su baja brillantez de superficie y generación de calor las hacen ideales para oficinas y escuelas, donde el confort térmico y visual es importante.

Dentro de las desventajas se incluye su gran tamaño para la cantidad de luz producida. Esto dificulta el control de luz, lo que da como resultado un ambiente difuso y sin sombras. Su uso en áreas exteriores es todavía menos económico, porque la salida de luz de esta fuente se reduce a temperaturas ambientes bajas.

A pesar de que la eficacia fluorescente es mayor que el de una lámpara incandescente, sólo se pueden lograr altos lúmenes por watt mediante lámparas de sodio de alta presión o de aditivos metálicos.

c. Lámpara de Mercurio: Fue la primera lámpara de alta intensidad de descarga diseñada que suplió la necesidad de una lámpara de alta salida, más eficiente pero compacta (ver figura 4.13). Cuando recién fue diseñada su principal desventaja era su pobre rendimiento de color, el cual se ha mejorado enormemente por medio del uso de una capa de fósforo sobre el foco.

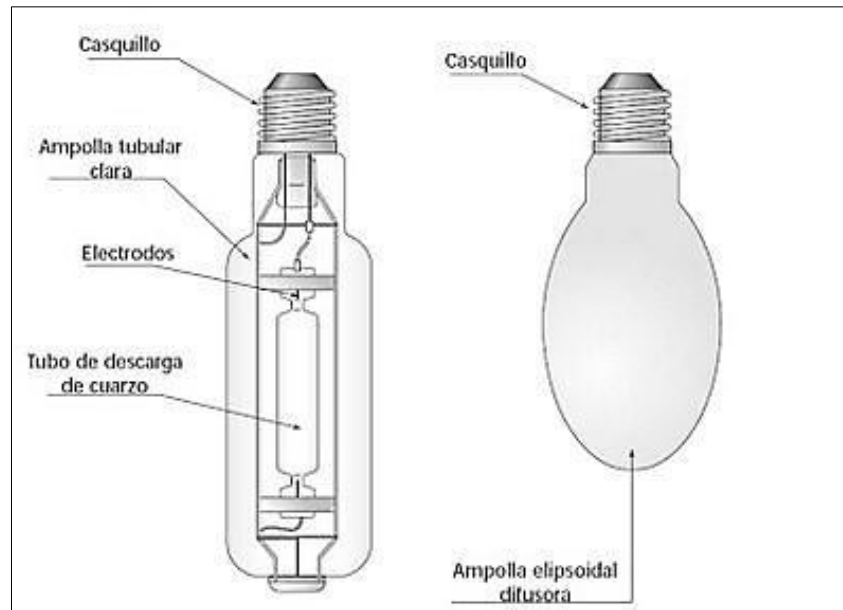


Figura 4.13. Lámpara de Mercurio, fuente c.eléctricos.

La vida de las lámparas de mercurio es buena, en promedio 24.000 horas para la mayoría de las lámparas de mayor potencia. Sin embargo, su salida de luz disminuye en mayor medida con el paso del tiempo, por lo que la vida operacional económica es muy corta.

Su eficacia oscila entre los 30 y 60 lúmenes por watt, siendo las potencias más altas, más eficientes que las más bajas.

Al igual que otras lámparas de alta intensidad de descarga, el arranque de una lámpara de mercurio no es inmediato; sin embargo, el tiempo de arranque es corto, como 47 minutos para lograr la máxima salida, dependiendo de la temperatura ambiente.

d. Lámpara de aditivos metálicos: Son similares en construcción a las lámparas de mercurio, con la adición de otros elementos metálicos en el tubo de arco.

Los mayores beneficios obtenidos por este cambio, son un incremento en la eficacia de 60 a 100 lúmenes por watt y una mejora en su rendimiento de color al grado que esta fuente es adecuada para áreas comerciales. Su control de luz es más preciso que el de una lámpara de mercurio, ya que la luz emana del pequeño tubo de arco, no de la parte externa del foco de la lámpara recubierta (ver figura 4.14).

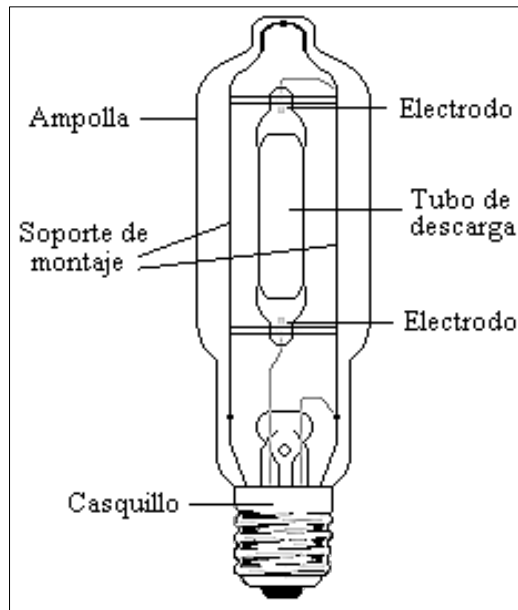


Figura 4.14. Lámpara de aditivos metálicos, fuente c.eléctricos.

Una desventaja de la lámpara de aditivos metálicos es una vida más corta (7.500 a 20.000 horas) comparada con las lámparas de mercurio y de sodio de alta presión. Su tiempo de arranque es aproximadamente el mismo que para lámparas de mercurio. Sin embargo, su reinicio, después que una reducción del voltaje ha extinguido la lámpara, puede tomar bastante más tiempo, de cuatro hasta doce minutos dependiendo del tiempo que la lámpara requiera para enfriarse.

e. Lámpara de sodio de alta presión: Desarrolladas para obtener una mejor eficiencia en la iluminación, desarrollando eficacias que van desde 80 a 140 lúmenes por watt, estas lámparas proveen hasta siete veces más luz por watt que las incandescentes y cerca del doble que algunas de mercurio o fluorescentes (ver figura 4.15).

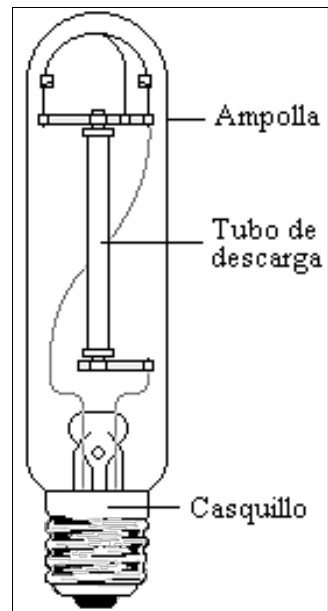


Figura 4.15. Lámpara de sodio de alta presión, fuente c.eléctricos.

Además de esto se puede señalar que ofrecen una vida más larga (24.000 horas) y las mejores características de mantenimiento de lumen de todas las fuentes de alta intensidad de descarga. Su desventaja es su color amarillento; ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales y exteriores.

f. Lámparas de sodio de baja presión: Ofrecen la eficacia inicial más alta de todas las lámparas que se pueden encontrar en el mercado actual, desde 100 hasta 180 lúmenes por watt (ver figura .16). Sin embargo, el que la salida de estas lámparas está en la porción amarilla del espectro visible, produce un rendimiento de color en extremo pobre y desagradable.

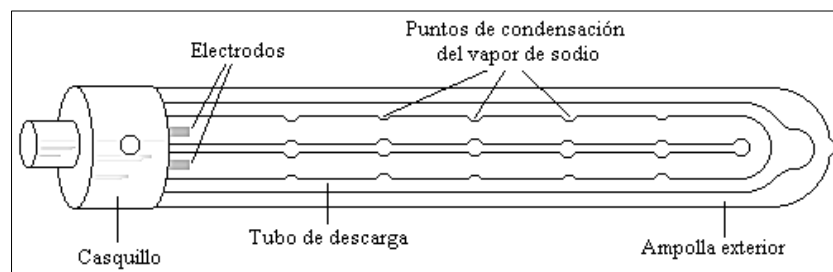


Figura 4.16. Lámpara de sodio de baja presión, fuente c.eléctricos.

Además el control de esta fuente es más difícil que otras fuentes de alta intensidad de descarga debido a su gran tamaño de su tubo de arco. La vida promedio de las lámparas de sodio de baja presión es de 18.000 horas. A pesar que su mantenimiento de lumen a lo largo de su vida es bueno, hay un contra peso por el incremento en la potencia de la lámpara, lo que reduce la eficiencia de este tipo de lámpara con el uso.

g. Tecnología LEDs: Los Diodos Emisores de Luz están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz. No poseen filamento, por lo que tienen una elevada vida (hasta 50.000 horas) y son muy resistentes a los golpes.

Además, al ser 80% más eficaces que las lámparas incandescentes están empezando a sustituir a las bombillas incandescentes y a las lámparas de bajo consumo en un gran número de aplicaciones, como escaparates, señalización luminosa, iluminación decorativa, entre otros.

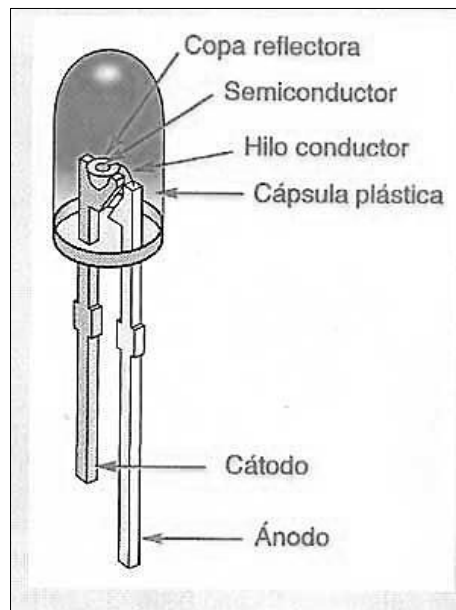


Figura 4.17. LEDs, fuente c.eléctricos.

4.4.3. Equipos auxiliares para iluminación

Aquellos elementos necesarios para el funcionamiento de algunas lámparas, como lo son:

Reactancia o balasto: elemento necesario para lámparas fluorescentes y de descarga. Dentro de las tecnologías disponibles para este tipo de equipos se encuentra la electromagnética y la electrónica. La primera de ellas admiten un consumo adicional de un orden del 25% de la potencia nominal de la lámpara. Los balastos electrónicos eliminan tal consumo añadiendo una serie de ventajas, como una mayor durabilidad al impedir el parpadeo, además de incluir un arrancador y condensador integrados, evitando la instalación de equipos adicionales, sin embargo son más caros que los de tecnología electromagnética pero se pueden amortizar rápidamente debido al menor consumo y mayor durabilidad que presentan.

Arrancador: elemento que permite elevar la tensión inicial al momento de encendido en algunas lámparas por sobre del umbral a partir del cual la lámpara es capaz de mantenerse funcionando por sí misma.

Condensador: permite corregir factores de potencias muy bajos como es el caso de lámparas fluorescentes y de descarga.

4.4.4. Sistemas de regulación de iluminación

Su utilización permite una adecuada gestión del modo de funcionamiento, nivel de iluminación y tiempo de encendido de las lámparas en un local, pudiendo generar una gran oportunidad de ahorro energético que muchas veces no es tenido en cuenta al momento de diseñar las instalaciones de una industria.

Dentro de los sistemas más utilizados se encuentran:

Programadores horarios: Interruptores horarios adaptables a cajas de mecanismos o conectados a enchufes, utilizados para controlar grupos de lámparas en locales cuya ocupación siga cierto patrón temporal definido. Adecuados para industrias con horarios de trabajo fijo.

Detectores de presencia: elemento caracterizado por estar conectado a otros sistemas con fines de ahorro en energía, son activados por presencia y se mantienen por presencia o sonidos. Son ocupados en locales de ocupación esporádica o intermitente.

Reguladores de luz: permiten variar el flujo luminoso de las fuentes de luz en una instalación de alumbrado. Estos responden a un sistema de mando y su principal

objetivo es reducir el nivel de iluminación a determinadas horas y obtener un importante ahorro energético.

La aplicación más importante de estos elementos es en locales con cierto grado de iluminación natural permitiendo un aprovechamiento óptimo de la luz natural que generara un considerable ahorro de energía.

4.4.5. Iluminación eficiente

Consiste en que las tareas visuales se realicen de una manera eficiente, crear un lugar que incentive el trabajo, brindando seguridad y confort, pudiéndose aumentar la producción y conseguir un alto ahorro energético. Para alcanzar este tipo de iluminación es necesario buscar un sistema que cumpla con las normas y estándares establecidos en el ámbito de la luminotecnia [IE06].

Para el proceso de selección del sistema, es necesario establecer ciertos propósitos y objetivos que se desea lograr, entre ellos como prioridad; obtener un mayor ahorro energético sin perder la cantidad de la iluminación.

Por ello el método utilizado para la comparación, debe cumplir con los parámetros indispensables que sirvan para garantizar una iluminación eficiente.

4.4.6. Métodos de cálculo de iluminación

El cálculo de la iluminación se puede desarrollar por el método de los lúmenes o el del punto por punto.

En el método punto por punto los cálculos son más exactos pero también es más demoroso, ya que en cada punto de medición se debe considerar la contribución de cada luminaria de forma individual. Por esta razón el aplicar este método es posible sólo si el número de puntos y luminarias no es grande.

En cambio el método de los lúmenes sirve para determinar la iluminancia media sobre una superficie llamada plano de trabajo y se basa en la ley fundamental que dice que una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación luminosa, es directamente proporcional a la intensidad luminosa en dicha dirección e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa la fuente de dicha superficie [Roustaiyan07].

A partir de la definición de Iluminancia y en la ley fundamental, se determina la expresión básica para este método:

$$(17) \quad E = \frac{\phi_T}{S} = \frac{\phi_T}{A \times L}$$

Dónde:

E = Nivel Iluminación (lux)

ϕ_T = Total de lúmenes incidentes sobre una superficie (lm)

S = Superficie (m²)

A = Ancho del área (m)

L = Longitud del área (m)

Sin embargo, como el valor del nivel de iluminación tendrá modificaciones en lo que se refiere al flujo luminoso total, al ser este afectado por los factores relacionados con la eficiencia de la luminaria, como lo son el factor de utilización y el factor de mantenimiento., se debe utilizar la expresión 18 [Roustaiyan07].

$$(18) \quad E = \frac{\phi_T \times F_u \times F_m}{S}$$

Dónde:

E = Nivel Iluminación (lux)

ϕ_T = Total de lúmenes incidentes sobre una superficie (lm)

S = Superficie (m²)

F_u = Factor de utilización

F_m = Factor de mantenimiento

4.4.7. Aplicación del método de los lúmenes para iluminación en interiores

Este método es utilizado para estimar el número de unidades de alumbrado para producir una iluminación promedio considerada en un local. Por lo tanto, para que

sea posible la utilización de este método se debe tener en cuenta el siguiente procedimiento [Roustaiyan07]:

1. Calcular las relaciones de cavidad: estas son relaciones numéricas que caracterizan la geometría del espacio a evaluar, para su cálculo se deben tener cada una de las variables de la dimensión de la superficie analizada y se determinan mediante la siguiente fórmula.

$$(19) \quad R_c = \frac{5 \times H \times (L+A)}{L \times A}$$

Dónde:

L = Longitud del local

A = Altura del local

H = Altura de la cavidad, que sería:

H_{CT} = Para la relación de la cavidad de techo (R_{CT})

H_{CL} = Para la relación de la cavidad del local (R_{CL})

H_{CP} = Para la relación de la cavidad del piso (R_{CP})

2. Determinar la reflectancia efectiva de la cavidad del techo: se obtiene de la combinación de la reflectancia del techo y la reflectancia de las paredes que se encuentran por sobre la luminaria, mediante la utilización de las tablas 4.5.a, 4.5.b y las tablas que se encuentran en el anexo 3.

Tabla 4.5.a. Tabla valores típicos de las reflectancia con luz blanca

COLORES	% REFLECTANCIA	MATERIALES	% REFLECTANCIA
Blanco	75-85	Espejo metálico	80-90
Crema claro	70-75	Plástico matizado	75-85
Amarillo Claro	65-75	Aluminio pulido	65-85
Plomo claro	55-75	Acero inoxidable	55-65

Fuente: Iluminación Interior e Industrial, Indalux, 2002.

Tabla 4.5.b. Tabla valores típicos de las reflectancia con luz blanca

COLORES	% REFLECTANCIA	MATERIALES	% REFLECTANCIA
Verde claro	55-65	Hierro esmaltado	60-90
Azul claro	50-60	Blanco sintético	70-85
Plomo medio	40-55	Concreto	40-50
Verde medio	40-50	Estuco	70-80
Azul medio	35-50	Ladrillos	10-40
Rojo	10-20	Asfalto	4-10

Fuente: Iluminación Interior e Industrial, Indalux, 2002.

3. Determinar la reflectancia efectiva de la cavidad del piso: se obtiene de la combinación de la reflectancia del piso y la reflectancia de las paredes que se encuentran bajo el plano de trabajo, mediante la utilización de las tablas 4.5.a, 4.5.b y las tablas que se encuentran en el anexo 3.

4. Determinar el factor de utilización: normalmente es proporcionado por los fabricantes y depende de dos variables: las reflectancias de las superficies y las dimensiones de dicho espacio.

5. Determinar el factor de mantenimiento: este factor depende de una combinación de elementos producidos por la suciedad de las lámparas y las luminarias, las pérdidas de las propiedades ópticas y otros elementos que pueden contribuir a la pérdida de luz.

En las tablas 4.6.a y 4.6.b se encuentran distintos factores de mantenimiento de acuerdo al ambiente de trabajo y periodicidad en la reposición de las lámparas.

Tabla 4.6.a Tabla factores de mantenimiento para iluminación en interiores

Clasificación de Mantenimiento	Descripción	Factor de mantenimiento
Bueno	Ambiente limpio con mantenimiento frecuente y reposición periódica de las lámparas	0,7-0,75

Fuente: Iluminación Interior e Industrial, Indalux, 2002.

Tabla 4.6.b Tabla factores de mantenimiento para iluminación en interiores

Clasificación de Mantenimiento	Descripción	Factor de mantenimiento
Regular	Ambiente con poca contaminación, mantenimiento regular y reposición de lámparas	0,65-0,7
Malo	Ambiente contaminado con poca reposición	0,6-0,65

Fuente: Iluminación Interior e Industrial, Indalux, 2002.

6. Determinar el número de luminarias: una vez terminados los pasos anteriores, se puede proceder a determinar el número aproximado de luminarias necesarias para emitir la iluminación deseada en la zona de trabajo, las cuales se calculan mediante la expresión:

$$(20) \quad N = \frac{E_{med} \times S}{n \times \phi_L \times F_u \times F_m}$$

Dónde:

E_{med} = Nivel Iluminación medio (lm)

S = Superficie del local (m^2)

n = Numero de lámparas por luminarias

ϕ_L = Lúmenes por lámpara (lm)

F_u = Factor de utilización

F_m = Factor de mantenimiento

4.4.8. DS N° 594

El Decreto Supremo N° 594, en su artículo 103 señala que en todo lugar de trabajo, con excepción de faenas mineras subterráneas o similares, deberá estar iluminado con luz natural o artificial que dependerá de la faena o actividad que en él se realice.

Para Tricolor S.A., el valor mínimo de la iluminación promedio será la que se indica a continuación en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Tabla valor mínimo de la iluminación promedio según lugar o faena de trabajo.

Lugar o Faena	Iluminación Expresada en Lux (Lx)
Trabajo prolongado con requerimiento moderado sobre la visión, trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles, moldes en fundiciones y trabajos similares.	300

Fuente: DS N° 594, IST, 2011.

Los valores indicados en la tabla se entenderán medidos sobre el plano de trabajo o a una altura máxima de 80 cm sobre el suelo del local, para el caso de la iluminación general.

5. Estudio de la situación actual

5.1. Sector motor

Al momento de la obtención de información necesarios para el presente trabajo de titulación, en la PPL de Tricolor S.A. se utilizaba, para el desarrollo de sus operaciones, un universo de 192 motores eléctricos de corriente alterna/asíncronicos/tipo jaula de ardilla/trifásicos de IE1, los que se caracterizaban por:

Ser máquinas de baja eficiencia: En la PPL se operaban motores eléctricos que tienen como mínimo una antigüedad de 15 años y por lo que respecta a su clasificación de eficiencia se encuentran dentro del rango estándar, puesto en los años que fueron adquiridos la industria no consideraba como principal cualidad en su fabricación la eficiencia, más bien se puede decir que estos privilegiaban la funcionalidad y precio.

Estar mal dimensionados: Se dice que un motor está sobredimensionado cuando su potencia es mayor que la carga a la que opera, por lo que trabaja a una carga parcial, cuando esto ocurre se reduce su eficiencia y aumentan sus costos de operación, ya que a medida que la dimensión de un motor aumenta con respecto a su carga mecánica, aumenta la energía consumida con respecto a uno exacto.

Por otro lado, si el motor esta subdimensionado su carga mecánica será elevada, provocando que pierda rpm, produciendo un aumento de la corriente y generando un calentamiento del equipo por arriba del permitido, el cuál puede quemarse si no cuenta con la protección debida.

Ambas situaciones se podían presentar en la PPL, ya que en la mayoría de los casos, al momento de instalar los motores eléctricos utilizados en la planta no se consideró la carga requerida por los equipos asociados y conjuntamente con esta situación los requerimientos en la planta han ido evolucionado con el tiempo.

No contar con un programa de mantención adecuado: Todo equipo o máquina eléctrica debe ser sometido a mantención.

En el caso de la empresa, al momento de realizar el estudio, no se realizaban mantenciones a menos que presentasen una falla grave, afectando directamente el rendimiento de sus motores eléctricos, ya que la EE depende del rendimiento total del equipo y este a su vez depende de la eficacia en la gestión de su mantenimiento.

En consecuencia, se puede decir que la eficiencia a la cual trabaja un equipo es efecto del rendimiento de éste, conjunto con la gestión de mantenimiento que recibe.

El mercado de pinturas es altamente competitivo, por lo que Tricolor S.A. no podía permitir que sus equipos fallasen o saliesen de operación (frecuente, ni esporádicamente), ya que esto podía dar como efecto: alzas en los costos de operación, mayores costos de mantenimiento y pérdidas de producción.

Por lo que era necesario que en la empresa se implementara, como mínimo, un monitoreo del desempeño de sus equipos y un plan de mantenimiento preventivo.

Presentar malas prácticas operacionales: En la PPL era una situación recurrente que los equipos utilizados para sus operaciones funcionaran sin llevar un control de tiempo, situación que se hacía más evidente en las zonas de terminación y ajustes, puesto la carga de trabajo, en ciertos momentos del día sobrepasaba al personal con el que se contaba y además en estos equipos se podían efectuar tres etapas del proceso de elaboración de pintura, lo que implicaba a distintas personas trabajando en estos, lo que hacía más engorroso el saber si efectivamente el estanque debía o no estar funcionando.

Por otra parte, los motores utilizados en estas etapas presentaban constantes encendidos y apagados manuales, lo que generaba un aumento del consumo eléctrico de la empresa, puesto es en el momento de arranque de un motor eléctrico donde se presentan sus mayores consumos de energía y es en este punto, en donde la corriente utilizada puede llegar a ser hasta seis veces la nominal.

De acuerdo a las características ya mencionadas, se abordaran dos puntos de análisis del sector de motores: por un lado se determinará la eficiencia a la cual operaban un conjunto de equipos, que representaban el mayor consumo de energía eléctrica en la PPL, por otro se analizarán los consumos asociados a las malas prácticas operacionales detectadas.

5.1.1. Determinación eficiencia operacional de los motores

Para determinar la eficiencia operacional de los motores seleccionados, se creó un protocolo de medición (ver anexo 3), el cual implicaba realizar mediciones de campo de las condiciones de funcionamiento de un universo de 88 equipos (ver tablas 5.1.a y 5.1.b), los cuales representan un 80,29% del total de la potencia instalada en la PPL.

Si bien, el período de medición propuesto correspondía a 20 horas totales en un plazo de 10 días, debido a diversas circunstancias se debió extender por alrededor de tres meses y medio.

Tabla 5.1.a. Tabla motores seleccionados determinación eficiencia operacional.

Sub-planta	Cantidad	Potencia (kW)	Uso
P2	2	90	Dispersión
	8	15	Terminación y ajustes
P7	1	90	Dispersión
	8	15	Terminación y ajustes
	4	6,6	Terminación y ajustes
	1	5,5	Terminación y ajustes
	1	4,8	Terminación y ajustes
	1	4,5	Terminación y ajustes
	3	22	Molienda
	2	17,5	Molienda
	1	17	Molienda
	3	15	Dispersión y molienda
P1	1	11	Molienda
	1	6,6	Terminación y ajustes
	2	5,5	Terminación y ajustes
	3	4,8	Terminación y ajustes
	1	4	Terminación y ajustes
	4	3,6	Terminación y ajustes
	3	2,6	Terminación y ajustes
	2	2,2	Terminación y ajustes
	1	30	Mezclado y ajustes
	1	22,5	Mezclado y ajustes
P6	1	22	Mezclado y ajustes
	3	19	Mezclado y ajustes
	2	11	Mezclado y ajustes
	1	7,5	Mezclado y ajustes
	2	5,5	Mezclado y ajustes
P8	1	68	Terminación y ajustes
	1	30	Dispersión
	1	18,5	Dispersión
	1	15	Dispersión
	1	5,5	Terminación y ajustes

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

Tabla 5.1.b. Tabla motores seleccionados determinación eficiencia operacional.

Sub-planta	Cantidad	Potencia (kW)	Uso
P3	3	18,5	Molienda
	12	5,5	Terminación y ajustes
Compresores	1	50	General
	1	45	General
Extractores	1	22	Planta 7
	1	11,2	Planta 6
	1	7,5	Planta 3

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por Tricolor S.A.

De manera tal de explicar la aplicación de la metodología utilizada para determinar la eficiencia operacional del universo de motores seleccionados, se irán explicando cada una de las etapas y a la vez exponiendo los resultados obtenidos por medio de tablas.

Para fines prácticos de aquí en adelante se tomara como ejemplo para esta explicación el motor asociado a un equipo específico, en tanto que los resultados de los motores restantes se pueden encontrar en los anexos, tal cual como se indicará en cada una de las etapas.

Etapas 1: Para la evaluación de la eficiencia por medio del método de la potencia de entrada fue necesario recolectar los datos de placa de los motores a evaluar y sus horas de uso, cabe señalar que ante la ausencia de las placas se acudió a la búsqueda en los registros del departamento de mantenimiento y por último a búsquedas de manuales disponibles en internet.

Tabla 5.2. Tabla datos nominales del motor eléctrico asociado al PH3.

M-PH3	
Potencia	90 (kW)
Velocidad	1485 (rpm)
Corriente	173 (A)
Eficiencia	0,93
FP	0,85

Fuente: Elaboración propia

El motor seleccionado para explicar la metodología utilizada para determinar la eficiencia operacional de los motores seleccionados, corresponde al asociado a uno de los equipos dispersores de la sub-planta dos, en la tabla 5.2 se encuentran sus datos nominales de operación, en donde se puede observar que el motor asociado al equipo dispersador denominado PH3 tiene una potencia de trabajo de 90 kW, a una velocidad de 1.485 RPM y consumiendo 173 A de corriente, en tanto que su eficiencia es de un 93% con un factor de potencia de 0,85.

En tanto que la tabla 5.3 se encuentran los tiempos de operación, para el mismo equipo, es decir se estimó que el motor asociado al PH3 trabaja 3 horas al día o visto desde otra perspectiva funcionaba aproximadamente 60 horas al mes lo que da un total de tiempo operacional de 720 horas anuales. En tanto que la misma información, pero para la totalidad de los motores objetos de mediciones, se encuentran disponibles en los anexos 4 y 5.

Tabla 5.3. Tabla tiempo operacional motor del PH3.

M-PH3		
Horas Operación	Diarias	3 (h)
	Mensuales	60 (h)
	Anuales	720 (h)

Fuente: Elaboración propia

Etapas 2: Una vez que se recolectó la mayoría de la información solicitada en la etapa uno, se procedió con la realización de las mediciones de los voltajes y las corrientes para cada una de las fases de operación de los motores eléctricos. Para esto, se utilizó el procedimiento indicado en el protocolo que se encuentra disponible en el anexo 3, recolectando los datos en la hoja disponible en el anexo 6.

En la tabla 5.4 se encuentran los resultados obtenidos tras las mediciones realizadas al motor asociado al equipo dispersador, nombrado PH3. Al revisar estos datos se concluyó que el motor trabajaba en un sistema desbalanceado, puesto los valores obtenidos para cada una de las fases de su funcionamiento, fueron distintos. Aparte de esta información también están los promedios calculados, de tanto los voltajes como corrientes de operación.

Cabe señalar que para efectuar la medición era un requisito que el equipo, al cual se encontraba asociado el motor a medir, se encontrara trabajando a lo menos con una carga de operación de un 70% de su capacidad en volumen. En el anexo 7 se encuentran los resultados de las mediciones realizadas al conjunto de los motores seleccionados en la PPL.

Tabla 5.4. Tabla resultados obtenidos tras las mediciones eléctricas al motor del PH3.

M-PH3		
Fase 1	Voltaje	374 (V)
	Intensidad Corriente	120 (A)
Fase 2	Voltaje	377 (V)
	Intensidad Corriente	120 (A)
Fase 3	Voltaje	379 (V)
	Intensidad Corriente	130 (A)
Promedio Fases	Voltaje	377 (V)
	Intensidad Corriente	123 (A)

Fuente: Elaboración propia

Etapa 3: Una vez que se pudo determinar el promedio del voltaje e intensidad de corriente a la cual operaban los motores, se procedió a estimar, bajo condiciones nominales, el valor del FP al que estaba funcionando. Para realizar esto, primeramente se debió calcular el FC [Obregon05] al que funcionaba el motor, por medio de la ecuación 21:

$$(21) \text{ FC} = \left(\frac{I_p}{I_n} \times \frac{V_p}{V_n} \right)$$

Dónde:

I_p = Corriente promedio de las tres fasesI_n = Corriente nominal del motorV_p = Voltaje promedio de las tres fasesV_n = Voltaje nominal del motor

Obtenido el FC y con los datos técnicos de operación del motor, se calculó el FP nominal a esa carga en base a las curvas FC v/s FP que se encuentran disponibles en el anexo 8, en la tabla 5.5 se presentan los resultados obtenidos en el motor asociado al equipo dispersador denominado PH3 el que tiene un voltaje nominal y una corriente nominal de trabajo de 380 V y 173 A, respectivamente.

En la tabla 5.5 también se encuentran el voltaje y corriente promedio de las fases de operación del motor eléctrico determinados en la etapa dos, cuyos valores corresponden a 377 V y 123 A. Con estos datos y por medio de la ecuación 21 se obtuvo un factor de carga de 0,71, el cual al ser reemplazado en la ecuación de la curva correspondiente al motor seleccionado dio un FP de 0,84, en tanto que en el anexo 9 se encuentran los FP correspondientes a cada uno de los motores analizados.

Tabla 5.5. Tabla estimación del FP de operación del motor asociado al PH3.

M-PH3	
Voltaje Nominal	380 (V)
Corriente Nominal	173 (A)
Voltaje Promedio	377 (V)
Corriente Promedio	123 (A)
Factor de Carga	0,71
Ecuación Curva FC v/s FP	$-0,24*FC*FC+0,46*FC+0,63$
FP	0,84

Fuente: Elaboración propia

Etapa 4: Luego de obtener los datos de la etapa dos y tres, se calculó el valor de la potencia medida del motor en estudio, en base a la ecuación 3:

$$(3) \quad P_m = \frac{V \times I \times FP \times \sqrt{3}}{1000}$$

Tabla 5.6. Tabla para el cálculo valor de la potencia medida del motor asociado al PH3.

M-PH3	
Voltaje Promedio Medido	377 (V)
Intensidad Corriente Promedio Medida	123 (A)
FP	0,84
Potencia Medida	67 (kW)

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5.6 contiene el resultado de la potencia medida del motor eléctrico asociado al equipo dispersador del PH3 y cuyo valor corresponde a 67 kW, para

determinar este dato se trabajó con el promedio del voltaje e intensidad de corrientes que se obtuvieron en la etapa dos de la metodología para determinar la eficiencia operacional de los motores en estudio y cuyos valores corresponden a 377 V y 123 A, respectivamente.

Otro dato utilizado y que también se encuentra en la tabla 5.6, fue un factor de potencia de 0,84 que corresponde al resultante de la etapa tres. Para ver los resultados obtenidos para todos los motores eléctricos estudiados, ir al anexo 10.

Etapa 5: Al inicio de la tabla 5.7, se encuentran los datos utilizados para determinar la carga en la que operaba el motor eléctrico en estudio y que correspondieron a la potencia medida, potencia nominal y eficiencia nominal de valores de 67 kW, 90 kW y 0,93, respectivamente.

Con esta información, lo primero que se hizo fue determinar la potencia nominal de entrada, que corresponde al cociente entre la potencia y eficiencia nominal, dando un resultado de 97 kW.

Luego de esto, se procedió a determinar la carga a la que operaba el motor eléctrico asociado al equipo dispersador PH3, que dio un valor de 69% al calcular la potencia medida como porcentaje de la potencia nominal de entrada, de valores de 67 y 97 kW, respectivamente. Es decir, este motor se encontraba funcionando a un 69% de su capacidad. En el anexo 11 se encuentran las cargas a la que operaban los otros motores estudiados.

Tabla 5.7. Tabla cálculo carga operacional del motor asociado al PH3.

M-PH3	
Potencia Medida	67 (kW)
Potencia Nominal	90 (kW)
Eficiencia Nominal	0,93
Potencia Nominal Entrada	97 (kW)
Carga	69 %

Fuente: Elaboración propia

Etapa 6: La finalidad de esta etapa fue determinar la eficiencia operacional del motor eléctrico que se encontraba asociado al equipo dispersador denominado PH3, considerando que trabajaba en un 69% de su capacidad.

Para poder llegar a obtener este valor y debido a la existencia de diversas tablas, de acuerdo al fabricante del motor eléctrico, que permitían estimar la eficiencia

operacional se optó por obtener el dato de tablas normalizadas para distintos factores de carga, potencias nominales y número de polos, según los motores analizados, tanto para aquellos de IE1, IE2 o IE3, para así poder trabajar con datos más acordes. Tanto el procedimiento como las tablas generadas en base a la Norma IEC 60034-2-1 se encuentran disponibles en el anexo 12.

Como resultado del procedimiento, se encuentran los primeros dos valores de la tabla 5.8 que corresponden a la eficiencia normalizada para un 100% de carga (FC) y un 75% de carga (3/4 FC), de valores 93% y 91%, respectivamente .

Una vez obtenidas las eficiencias normalizadas y en base a la Norma IEC 60034-1 se obtuvo la eficiencia según la carga a la que operaba el motor del PH3, dando un resultado del 85%. Para ver las eficiencias de todos los motores analizados ir al anexo 13.

Tabla 5.8. Tabla eficiencia del motor asociado al PH3, según curva normalizada

M-PH3		
Eficiencia Normalizada	FC	93 (%)
	3/4 FC	91 (%)
Eficiencia según Curva Normalizada		85 (%)

Fuente: Elaboración propia

Etapas 7: En esta etapa se calcularon los factores de corrección que permitieron aumentar la exactitud en la determinación de la eficiencia estimada a la cual operaba el motor eléctrico asociado al equipo dispersador denominado PH3. Fue necesario el cálculo de estos factores, debido a que el método de la potencia de entrada sirve para estimar la eficiencia pero en condiciones óptimas de operación, sin considerar distintas causas que pueden dañar el funcionamiento del motor e incluso reducir su tiempo de vida.

En la tabla 5.9 se muestra el factor de corrección por variaciones de tensión (en lo adelante FC1), por trabajar con una carga distinta de la nominal (en lo adelante FC2), por desbalances de voltaje (en lo adelante FC3) y por deterioro debido a algún rebobinado (en lo adelante FC4).

En este último factor de corrección, debido a la ausencia de datos de mantenimiento, se debió trabajar en el caso hipotético de que los equipos no tuviesen rebobinados, presentasen un rebobinado y en el caso de que tuviesen dos rebobinados. Por lo que en la tabla 5.9 también contiene las eficiencias corregidas para cada uno de los supuestos, dando valores de 77%, 75% y 73% de eficiencia para

motores sin rebobinado, con un rebobinado y con dos rebobinados, respectivamente. En el anexo 14 se expresan los factores de corrección y la eficiencia estimada a la cual operaba cada uno de los motores analizados en la PPL.

Tabla 5.9. Tabla factores de corrección y eficiencia estimada de funcionamiento del motor asociado al PH-3.

M-PH3	
FC1	0,999
FC2	0,994
FC3	0,919
FC4 sin Rebobinado	1
FC4 con 1 Rebobinado	0,97
FC4 con 2 Rebobinados	0,94
Eficiencia según CE	85 (%)
Eficiencia Corregida Sin Rebobinado	77 (%)
Eficiencia Corregida con 1 Rebobinado	75 (%)
Eficiencia Corregida con 2 Rebobinados	73 (%)

Fuente: Elaboración propia

Etapas 7 y 8: Una vez finalizada la etapa siete, se procedió a calcular la eficiencia operacional de las alternativas de reemplazo para cada uno de los motores analizados.

Para este cálculo se trabajó con la misma carga a la que operaba el motor al momento del estudio pero sin aplicarse factores de corrección, ya que tanto los motores de IE2 como los de IE3 son fabricados más robustos, por lo que se puede decir que su diseño los hace tolerar variaciones y desbalances de voltaje sin afectar su eficiencia operacional. Además, las diferencias de eficiencia a distintas cargas de operación en los motores eficientes son mínimas y por ser nuevos no corresponde aplicar el factor de corrección por rebobinados.

Tabla 5.10. Tabla eficiencias operacionales alternativas de reemplazo del motor actual, según curva IE2 y IE3.

M-PH3	
Carga	0,69
Eficiencia según CE IE2	89 (%)
Eficiencia según CE IE3	91 (%)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5.10 se encuentra la eficiencia estimada para motores nuevos a una carga operacional del 69%, dando un 89% para los de eficiencia mejorada y un 91% para los de alta eficiencia. Cabe mencionar que estas eficiencias se calcularon en base a las tablas normalizadas que se encuentran en el anexo 13.

Las eficiencias teóricas de funcionamiento para la alternativa de reemplazo de un motor de IE2 como para uno de IE3 y en base a la carga en que operaban cada uno de los motores al momento del estudio se encuentran en el anexo 15.

5.1.2. Determinación ahorros por reemplazo de motores

Para poder evaluar la opción de reemplazar algún motor de la PPL de Tricolor S.A., se calcularon los ahorros que se generarían como consecuencia de un menor gasto de energía y potencia. Para esto, en primera instancia se debió determinar la reducción de demanda que se obtendría al reemplazar un motor de IE1 contra las alternativas de reemplazo ya mencionadas, tal cálculo se obtuvo mediante la ecuación 22.

$$(22) \quad \text{Reducción de demanda} = P_n \times FC \times \left(\frac{1}{e_{\text{est}}} - \frac{1}{e_{\text{EE}}} \right)$$

Dónde:

Reducción de demanda = Ahorro en demanda, debido al aumento de la eficiencia (kW).

P_n = Potencia nominal (kW).

FC = Potencia de salida / Potencia nominal.

e_{est} = Eficiencia de un motor estándar en operación.

e_{EE} = Eficiencia de un motor eficiente en operación.

Por medio de la ecuación 22 fue posible obtener los ahorros en demanda que se conseguirían al reemplazar cada uno de los motores analizados, por uno de IE2 o por uno de IE3. Se hace necesario explicar que debido a la ausencia de datos de mantención de los motores se tuvo que analizar para cada alternativa bajo el supuesto de que no presentaba rebobinados, presentaba un rebobinado o presentaba dos rebobinados.

En el caso del equipo tomado de ejemplo, en la tabla 5.11 se encuentran las reducciones de demanda considerando una potencia nominal de 90 kW, un factor de

carga de 0,69, un 0,77 de eficiencia operacional para el motor de uso actual, un 0,89 de eficiencia operacional para un motor de IE2 y un 0,91 de eficiencia operacional para un motor de IE3. Para la opción de reemplazar el motor de eficiencia estándar por uno de eficiencia mejorada, se obtuvo una reducción de demanda de 10,36 kW, 12,86 kW y 15,52 kW bajo los supuestos de FC-1, FC-2 y FC-3, respectivamente. En tanto que la reducción de demanda obtenida para un supuesto de FC-1, FC-2 y FC-3 al reemplazar el motor de uso actual al momento del estudio por uno de alta eficiencia dio valores de 12,07 kW, 14,56 kW y 17,22 kW, respectivamente. Las reducciones de demanda obtenidas para cada uno de los motores analizados se encuentran en el anexo 16.

Tabla 5.11. Tabla reducciones de demanda que se obtendrían al reemplazar el motor de uso actual, al momento del estudio en el PH3, por uno de eficiencia mejorada o de alta eficiencia.

M-PH3		
Reducción demanda IE2	FC4-0	10,36 (kW)
	FC4-1	12,86 (kW)
	FC4-2	15,52 (kW)
Reducción demanda IE3	FC4-0	12,07 (kW)
	FC4-1	14,56 (kW)
	FC4-2	17,22 (kW)

Fuente: Elaboración propia

En el caso que se optara por reemplazar la totalidad de los motores analizados por equipos de IE2 se conseguiría una reducción total de demanda de 168,92 kW en el caso que no tengan rebobinado, 199,99 kW si presentasen un rebobinado y de 233,04 kW si es que tuviesen dos rebobinados.

En cambio sí se decidiera cambiarlos por motores de IE3 se obtendría una reducción de demanda de 204,58 kW en el caso que no tengan rebobinados, 235,65 kW si presentasen un rebobinado o de 268,7 kW si es que tuviesen dos rebobinados.

Una vez calculada la reducción de demanda al instalar un motor de IE2 o IE3, se procedió a obtener la energía ahorrada con tal situación, la cual fue calculada mediante la ecuación 23:

$$(23) \quad \text{Energía Ahorrada} = \text{Reducción de demanda} \times \text{Horas}$$

Dónde:

Energía ahorrada = Energía eléctrica ahorrada anualmente (kWh).

Reducción de demanda = Reducción de la demanda, debido al aumento de la eficiencia (kW).

Horas = Número de horas anuales de operación del motor.

La energía que se podría ahorrar anualmente, al realizar un cambio del motor actual utilizado en el equipo dispersor PH-3 por uno de IE2 o IE3 se encuentra expresada en la tabla 5.12, considerando 720 horas de operación anual. Para la opción de reemplazar el motor de eficiencia estándar por uno de eficiencia mejorada, se obtuvo un ahorro anual de energía de 2.936,36 kWh, 4.734,51 kWh y 6.647,44 kWh bajo los supuestos de FC-1, FC-2 y FC-3, respectivamente. En tanto que el ahorro anual de energía para un supuesto de FC-1, FC-2 y FC-3 al reemplazar el motor de uso actual al momento del estudio por uno de alta eficiencia dio valores de 4.273,51 kWh, 6.071,66 kWh y 7.984,58 kWh, respectivamente. Mientras que los posibles ahorros anuales en energía para cada uno de los motores evaluados están en el anexo 17.

Tabla 5.12. Tabla energía ahorrada anualmente al reemplazar el motor actual del PH3 por uno de eficiencia mejorada o de alta eficiencia.

M-PH3		
Energía ahorrada IE2	FC4-0	2.936,36 (kWh)
	FC4-1	4.734,51 (kWh)
	FC4-2	6.647,44 (kWh)
Energía ahorrada IE3	FC4-0	4.273,51 (kWh)
	FC4-1	6.071,66 (kWh)
	FC4-2	7.984,58 (kWh)

Fuente: Elaboración propia

Si en la empresa se optara por reemplazar el total de motores analizados por equipos de IE2 los ahorros anuales por energía serían de 144, 172 o 201 MWh suponiendo que no presentasen rebobinados, presentasen uno o dos rebobinados, respectivamente. En el caso que decidiera cambiarlos pero por motores de IE3 los ahorros anuales por energía serían de 176 MWh en el caso que no tengan rebobinados, 203 MWh si presentasen un rebobinado o de 233 MWh si es que tuviesen dos rebobinados.

En la figura 5.1 se presentan, tanto los posibles ahorros anuales como los nuevos consumos por concepto de energía, al reemplazar el conjunto de motores

analizados por equipos de IE2 o de IE3, considerando todos los supuestos de rebobinados mencionados.

Para el cálculo de los nuevos consumos se trabajó en base a que la PPL de Tricolor S.A. presentaba un consumo aproximado de 859 MWh anuales, dicho consumo se obtuvo en base a la información entregada por el departamento de mantención de la empresa.

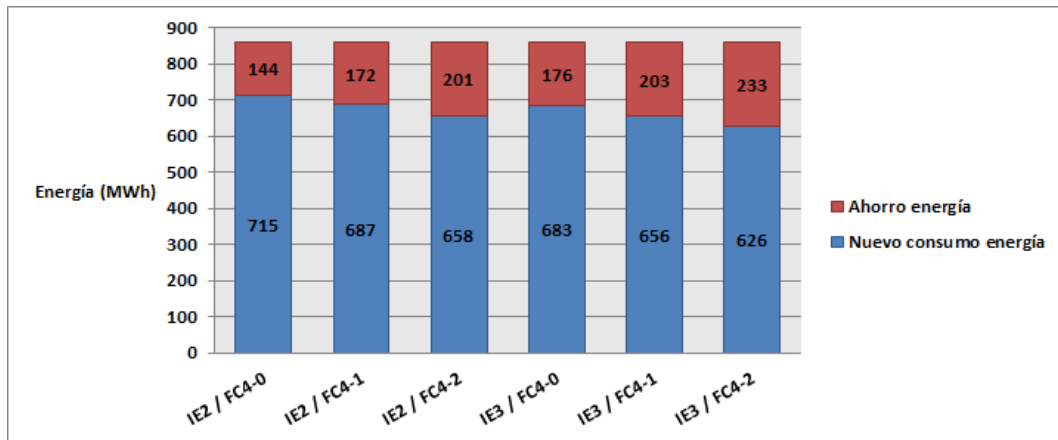


Figura 5.1. Gráfico de posibles ahorros anuales por concepto de consumo de energía en PPL por reemplazo motores actuales, elaboración propia.

Al analizar los ahorros porcentualmente, por concepto de energía la PPL pudiese disminuir entre un 20 a un 31% sus consumos anuales en el caso que reemplazase el conjunto de motores analizados por equipos de IE2 y entre un 26 a un 38% si es que optasen por equipos de IE3.

Una vez obtenida la reducción de demanda y el ahorro anual en energía al reemplazar los motores actuales por unos de IE2 o de IE3, fue posible calcular el ahorro anual, por demanda y energía, que se obtendría por el recambio de un motor, por medio de la siguiente fórmula:

$$(24) \quad \text{Ahorro anual} = (\text{Energía ahorrada} \times \text{costo de energía}) + (\text{Reducción de demanda} \times 12 \times \text{costo mensual por demanda})$$

Dónde:

Ahorro anual = Ahorro anual en dinero por demanda de energía (\$)

Energía ahorrada = Energía eléctrica ahorrada anualmente (kWh)

Horas = Número de horas anuales de operación del motor.

Para obtener los ahorros anuales que se presentan en la tabla 5.13, se utilizó un costo de energía de 79,213 \$/kWh y un costo mensual por demanda de 921,1 \$/kW/mes, estos datos fueron obtenidos de la publicación N° 52 de tarifas de suministro de CONAFE, correspondiente al mes de diciembre del año 2011.

Para la opción de reemplazar el motor de eficiencia estándar por uno de eficiencia mejorada, se obtuvo un ahorro anual de \$ 705.518, \$ 875.560 y \$ 1.056.455 bajo los supuestos de FC-1, FC-2 y FC-3, respectivamente. En tanto que el ahorro anual para un supuesto de FC-1, FC-2 y FC-3 al reemplazar el motor de uso actual al momento del estudio por uno de alta eficiencia dio un monto de \$ 821.602, \$ 991.643 y \$ 1.172.538, respectivamente. Los montos de los ahorros para el universo de motores analizados se encuentran en el anexo 18.

Tabla 5.13. Tabla ahorro anual al reemplazar el motor actual del PH-3 por uno de eficiencia mejorada o de alta eficiencia.

M-PH3		
	FC4-0	\$ 705.518
Ahorro anual IE2	FC4-1	\$ 875.560
	FC4-2	\$ 1.056.455
	FC4-0	\$ 821.602
Ahorro anual IE3	FC4-1	\$ 991.643
	FC4-2	\$ 1.172.538

Fuente: Elaboración propia.

Si se optase por reemplazar el total de motores analizados por equipos de IE2 los ahorros anuales por demanda y energía que podría obtener la empresa serían de alrededor de MM\$13, MM\$16 o MM\$19 suponiendo que no presentasen rebobinados, presentasen uno o dos rebobinados, respectivamente.

En el caso que decidiera cambiarlos pero por motores de IE3 los ahorros anuales por demanda y energía serían de MM\$16 en el caso que no tengan rebobinados, MM\$19 si presentasen un rebobinado o de MM\$21 si es que tuviesen dos rebobinados.

En la figura 5.2 se representan, tanto los posibles ahorros anuales por demanda y energía como los nuevos montos a pagar por este concepto, al reemplazar el conjunto de motores analizados por equipos de IE2 o de IE3, considerando todos los supuestos de rebobinados ya mencionados.

Para el cálculo de los nuevos consumos se trabajó en base a que la PPL de Tricolor S.A. presenta un consumo aproximado de 79 MM\$ al año, dicho consumo se tiene en base a la información entregada por el departamento de mantención de la empresa. Al revisar los ahorros porcentualmente, la PPL pudiese disminuir entre un 20 a un 31% sus consumos anuales en el caso que reemplazase el conjunto de motores analizados por equipos de IE2 y entre un 26 a un 38% si es que optase por equipos de IE3.

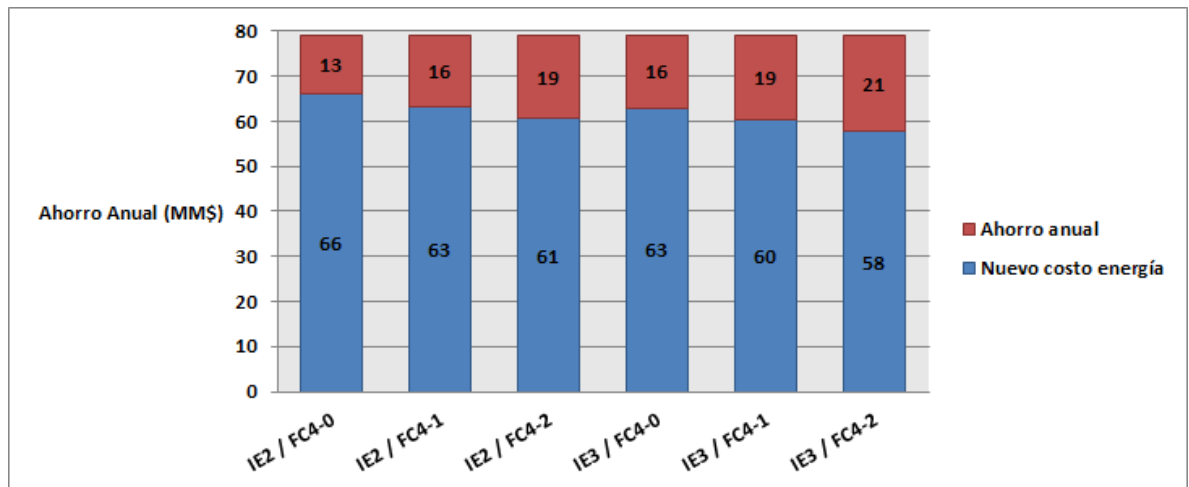


Figura 5.2. Gráfico de posibles ahorros anuales en la planta de pinturas líquidas por reemplazo de motores actuales, elaboración propia.

5.1.3. Análisis malas prácticas operacionales en el uso de los motores

Otro punto importante que se tomó en cuenta en el sector motor, son las malas prácticas operacionales detectadas durante el desarrollo del presente trabajo, específicamente una situación muy recurrente en las etapas de terminación y ajustes, en donde es común encontrar estanques funcionando sin un control de tiempo operacional. Puesto al momento del estudio en Tricolor S.A. la forma de controlar los tiempos de proceso, era por medio de relojes, anotando la hora de inicio de funcionamiento del equipo y según el tiempo requerido e indicado para cada producto en su respectiva OP se calculaba la hora de apagado del equipo.

Según los datos recolectados en la planta y si el seguimiento diario al funcionamiento de los estanques de terminación, fue posible estimar que estos tiempos variaban desde un 4,2 a un 8,3 % de su funcionamiento actual (entre cinco a 10 minutos diarios). Tal situación se presenta principalmente por las características propias de estas etapas del proceso de fabricación, en donde la carga de trabajo a ciertos momentos del día sobrepasaba al personal con el que se contaba, escenario que imposibilitaba a los operadores para llevar un control del tiempo en que los estanques funcionan realmente.

Los motores que fueron analizados en esta sección correspondieron a un total de 47, los que representaban un 17% de los consumos totales anuales de energía de la PPL, tal como se observa en la figura 5.3.

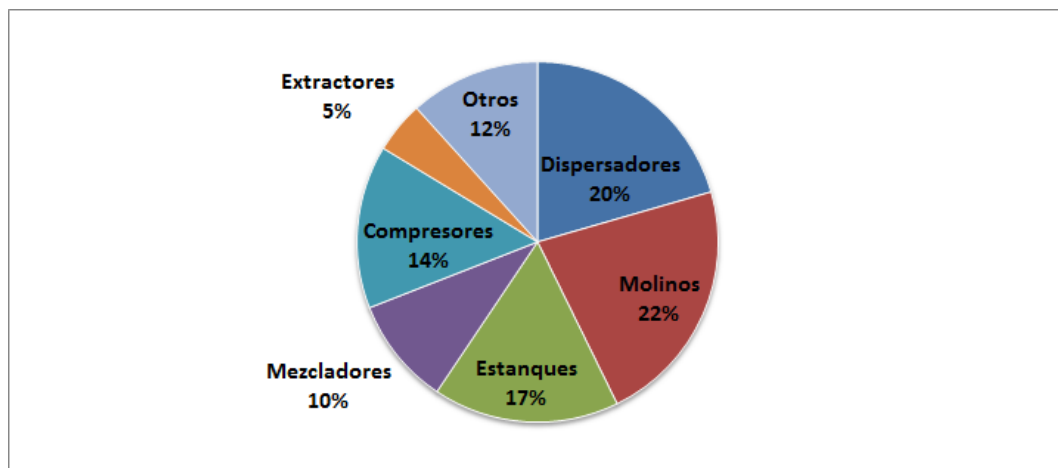


Figura 5.3. Distribución del consumo de energía eléctrica según equipos de la PPL, elaboración propia en base a datos facilitados por el departamento de mantenimiento de Tricolor S.A.

5.1.4. Determinación ahorros por mejoras en prácticas operacionales en el uso de los motores

Si en Tricolor S.A. se optara por controlar las malas prácticas detectadas en las etapas de terminación y ajustes de su proceso de elaboración en la PPL, se podrían obtener ahorros por concepto de consumos eléctricos.

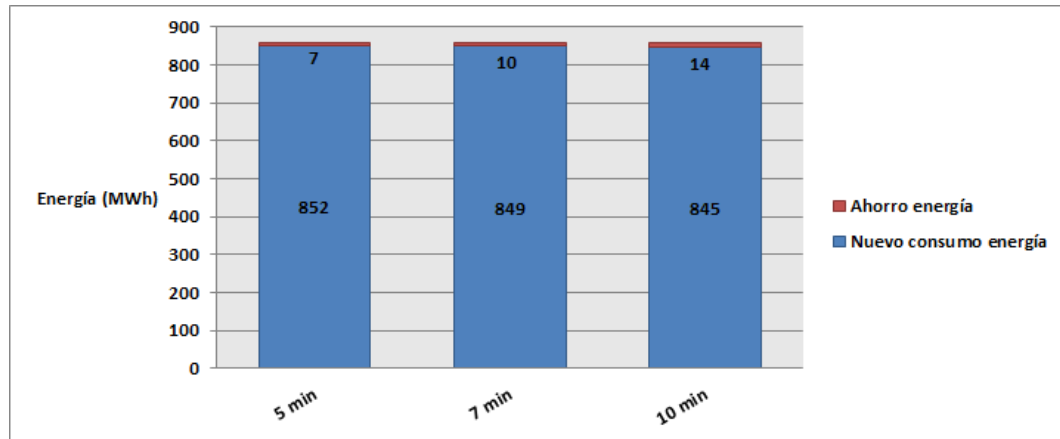


Figura 5.4. Gráfico de ahorros anuales en consumos de energía por control tiempos muertos operacionales en la planta de pinturas líquidas, elaboración propia.

Para poder determinar el monto de tales ahorros, se decidió realizar los cálculos necesarios en base a tres supuestos de tiempos muertos diarios (cinco, siete o 10 minutos), por lo que las horas de operación anual de cada uno de los motores asociados a este análisis disminuirían de 480 hasta 460, 452 y 440 horas.

En la figura 5.4 es posible observar los posibles ahorros anuales y los nuevos consumos estimados para la PPL, por concepto de energía que se obtendrían al controlar los tiempos muertos operacionales del total de motores analizados (47), para cada uno de los supuestos de tiempos muertos propuestos. Para ver el ahorro en energía asociado para cada estanque analizado y en cada uno de los supuestos diríjase al anexo 19.

Al tomar como dato base, un consumo anual aproximado de 859 MWh y ver los ahorros porcentualmente, por concepto de energía la PPL de Tricolor S.A. puede llegar a disminuir entre un 0,8 a un 1,6 % sus consumos anuales, si es que optasen por controlar sus tiempos muertos operacionales asociados a los estanques utilizados en las etapas de terminación y ajustes del proceso de elaboración de pinturas líquidas.

5.2. Sector iluminación

Al momento de la recolección de datos, en la PPL de Tricolor S.A. existían distintas fuentes de luz, ya sea para iluminación en exteriores o interiores, dentro de las cuales se podían encontrar:

Para iluminación de exteriores:

- Lámparas de haluros metálicos, también conocidas como mercurio halogenado y lámparas de vapor de sodio a alta presión, ambas de 400 W.
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión de 250 W.

Para iluminación interior:

- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión de 160 W.
- Lámparas de vapor de mercurio a baja presión, también conocidas como tubos fluorescentes de 40 y 20 W.

En el análisis del sector de iluminación se trabajó con las lámparas utilizadas para iluminar el interior de la PPL, las que se caracterizaban por ser menos eficaces en el uso de la energía, ya que correspondían a equipos antiguos.

Otro aspecto a destacar es que al momento del estudio no presentaban una adecuada mantención más que ser reemplazadas al momento de fallar, a pesar que el ambiente de trabajo lo requiriese, además de lo anteriormente mencionado permanecían la mayor parte del día encendidas a pesar de que en ciertos horarios la empresa pudiese aprovechar perfectamente la luz del día.

5.2.1. Evaluación del sistema de iluminación en el interior de la PPL

Para poder evaluar el sistema de iluminación de la PPL de Tricolor S.A. se utilizó el método de los lúmenes, por ser menos demorado y adaptarse mejor a las condiciones tanto de las luminarias existentes, como de los equipos disponibles para esta evaluación. Para fines prácticos se procederá a detallar las etapas que se siguieron para poder evaluar el sistema de iluminación de la planta.

Etapas 1: Para comenzar se calcularon las relaciones de cavidad, por medio de la ecuación 19, de cada uno de los espacios en donde se evaluaría la iluminación existente, en el caso de la PPL se obtuvieron las relaciones para 21 locales, ubicados en sus nueve sub-plantas, los resultados obtenidos se pueden ver en la tabla 5.14.

Tabla 5.14. Tabla relaciones de las cavidades de los locales analizados en la PPL.

Planta	Piso	Rc Piso	Rc Local	Rc Techo
1	3	2,01	3,05	1,41
	2	1,47	2,56	1,26
	Zona Estanques	1,13	1,57	0,63
	Zona Molinos	1,23	3,53	1,41
2	3	1,70	4,41	1,13
	2	1,99	8,24	1,16
	Zona Estanques	1,03	3,35	1,26
	TIP	0,59	1,76	1,84
3	Zona Estanques 2°	0,50	2,36	0,43
	Zona Molinos 2°	2,39	8,60	3,44
	Zona Estanques 1°	1,37	3,78	1,29
	Zona Molinos 1°	2,53	5,41	4,69
4	1	0,88	3,03	0,94
	Bodegas 2°	0,50	1,00	0,21
6	Zona Mezclado 2°	3,18	5,00	2,72
7	1	3,75	7,62	0,30
	3	1,24	4,67	0,59
	2	0,62	3,62	1,26
	1	0,46	0,82	1,02
8	Zona Envasado	1,29	5,66	2,23
	1	1,50	6,64	1,90

Fuente: Elaboración propia

Etapas 2: Una vez que se obtuvieron las relaciones de cavidad, se procedió a calcular las reflectancias efectivas de las cavidades del techo y piso de los locales evaluados (ver la tabla 5.15).

Para poder determinar estos valores, primeramente se debió determinar las reflectancias efectivas de cada una de las cavidades de los locales, según el color o tipo de material de estos, para lo cual se utilizó la tabla 4.5 que se encuentra en la sección 4.4.7 del presente trabajo.

De acuerdo a las características de la PPL para las paredes se utilizó un valor de 70%, un 60% para el techo y 50% para el piso, con esta información se pudo calcular las reflectancias efectivas de las cavidades utilizando las tablas del anexo 1. En el caso de la reflectancia efectiva de la cavidad del local, esta se debió obtener directamente de la tabla 4.3 y su valor corresponde a un 70%.

Tabla 5.15. Tabla reflectancias efectivas de las cavidades de los locales analizados en la PPL.

Planta	Piso	Reflectancia efectiva techo (%)	Reflectancia efectiva piso (%)
1	3	56	46
	2	57	47
	Zona Estanques	58	48
	Zona Molinos	56	48
2	3	57	47
	2	57	46
	Zona Estanques	57	48
	TIP	53	48
3	Zona Estanques 2°	59	58
	Zona Molinos 2°	50	46
	Zona Estanques 1°	56	47
	Zona Molinos 1°	47	46
4	1	57	46
	Bodegas 2°	59	58
6	Zona Mezclado 2°	52	45
7	1	59	38
	3	58	48
	2	57	48
	1	57	49
	Zona Envasado	54	47
8	1	54	47

Fuente: Elaboración propia

Etapas 3: El siguiente paso fue calcular el valor del factor de utilización de cada una de las lámparas usadas en los locales a evaluar, para esto se utilizaron las tablas proporcionadas por los fabricantes que se encuentran disponibles en el anexo 20, estas tablas fueron creadas en base a la curva de distribución luminosa de cada una de las bombillas utilizadas en la planta.

En la tabla 5.16 se encuentran los factores de utilización del conjunto de las lámparas de cada uno de los locales analizados, cabe señalar que los valores entregados son los promedios obtenidos, ya que en cada local se debió trabajar por sectores, dándose el caso de hasta 12 para cada uno, esto sucedió porque en las instalaciones de la empresa era común encontrar distintos tipos de lámparas en un mismo piso y además de esto se ubican a distintas alturas.

Tabla 5.16. Tabla factor de utilización de las lámparas de locales analizados en la PPL.

Planta	Piso	Factor utilización
1	3	0,84
	2	0,87
	Zona Estanques	1,01
	Zona Molinos	0,77
2	3	0,77
	2	0,59
	Zona Estanques	0,85
	TIP	0,78
3	Zona Estanques 2°	0,99
	Zona Molinos 2°	0,57
	Zona Estanques 1°	0,80
	Zona Molinos 1°	0,63
4	1	0,84
6	Bodegas 2°	1,08
	Zona Mezclado 2°	0,69
	1	0,57
7	3	0,80
	2	0,83
	1	1,11
	Zona Envasado	0,66
8	1	0,63

Fuente: Elaboración propia

Etapa 4: Una vez obtenido el factor de utilización de todas las lámparas de cada uno de los locales de la PPL, se debieron calcular los flujos luminosos totales existentes en cada planta, para esto fue necesario conocer la cantidad de lámparas instaladas funcionando y el flujo luminoso asociado a cada una de ellas.

En la tabla 5.17 están expresados los flujos luminosos asociados a cada potencia de las lámparas utilizadas en la PPL, en tanto que en las tablas 5.18.a y 5.18.b se puede encontrar detallado, por planta y potencia, el número de lámparas funcionando al momento del estudio para cada zona evaluada.

Tabla 5.17. Tabla flujos luminosos de las lámparas instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.

Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)
20	1.300
40	2.900
160	10.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.18.a. Tabla cantidades de lámparas, según su potencia, instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.

Planta	Piso	Potencia (W)		
		20	40	160
1	3	-	6 (uds.)	-
	2	-	16 (uds.)	-
	Zona Estanques	-	23 (uds.)	-
	Zona Molinos	-	12 (uds.)	-
2	3	-	4 (uds.)	7 (uds.)
	2	-	-	9 (uds.)
	Zona Estanques	2 (uds.)	2 (uds.)	14 (uds.)
	TIP	-	18 (uds.)	-
	Zona Estanques 2°	-	-	8 (uds.)
3	Zona Molinos 2°	-	-	7 (uds.)
	Zona Estanques 1°	10 (uds.)	4 (uds.)	7 (uds.)
	Zona Molinos 1°	-	8 (uds.)	-
4	1	-	12 (uds.)	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.18.b. Tabla cantidades de lámparas, según su potencia, instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.

Planta	Piso	Potencia (W)		
		20	40	160
6	Bodegas 2°	2 (uds.)	9 (uds.)	-
	Zona Mezclado 2°	-	16 (uds.)	-
	1	2 (uds.)	2 (uds.)	-
7	3	-	-	3 (uds.)
	2	-	-	7 (uds.)
	1	-	8 (uds.)	7 (uds.)
	Zona Envasado	-	16 (uds.)	6 (uds.)
8	1	-	4 (uds.)	3 (uds.)

Fuente: Elaboración propia

Al multiplicar el flujo luminoso unitario de cada lámpara por el total de las existentes en cada local, fue posible obtener para cada una de las zonas evaluadas sus flujos luminosos totales que se encuentran expresados en las tablas 5.19.a y 5.19.b.

Tabla 5.19.a. Tabla flujos luminosos totales de las lámparas instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.

Planta	Piso	Flujo Luminoso Total (Lm)
1	3	17.400
	2	46.400
	Zona Estanques	66.700
	Zona Molinos	34.800
2	3	81.600
	2	90.000
	Zona Estanques	148.400
	TIP	52.200
3	Zona Estanques 2°	80.000
	Zona Molinos 2°	70.000
	Zona Estanques 1°	94.600
	Zona Molinos 1°	23.200
4	1	34.800

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.19.b. Tabla flujos luminosos totales de las lámparas instaladas y en funcionamiento al momento del estudio en la PPL.

Planta	Piso	Flujo Luminoso Total (Lm)
6	Bodegas 2°	28.700
	Zona Mezclado 2°	46.400
	1	8.400
7	3	30.000
	2	70.000
	1	93.200
8	Zona Envasado	106.400
	1	41.600

Fuente: Elaboración propia

Etapa 5: Otras informaciones que fueron necesarias para el análisis de la iluminación en la PPL, eran las superficies de cada una de los locales ver tablas 5.20.a y 5.20.b, además del factor de mantenimiento de las lámparas utilizadas en ellos, para este se optó por un valor de 0.6, ya que las condiciones de planta corresponden a un ambiente contaminado que posee poca reposición de lámparas.

Para el caso del factor de mantenimiento, este se determinó después de observar las condiciones de funcionamiento de las lámparas existentes en la PPL, conjuntamente con la revisión de los historiales de mantenimiento y limpieza, asociados a estos equipos. En tanto que para determinar el valor de las superficies se debieron realizar algunas mediciones y ocupar algunos planos antiguos de las construcciones que fueron facilitados por el departamento de mantención de la empresa.

Tabla 5.20.a. Tabla superficies plantas evaluadas al momento del estudio en la PPL.

Planta	Piso	Superficies (m ²)
1	3	92
	2	212
	Zona Estanques	185
	Zona Molinos	190

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.20.b. Tabla superficies plantas evaluadas al momento del estudio en la PPL.

Planta	Piso	Superficies (m ²)
	3	259
2	2	300
	Zona Estanques	316
	TIP	146
	Zona Estanques 2°	221
3	Zona Molinos 2°	262
	Zona Estanques 1°	191
	Zona Molinos 1°	190
4	1	72
	Bodegas 2°	212
6	Zona Mezclado 2°	57
	1	155
7	3	120
	2	263
	1	263
	Zona Envasado	241
8	1	104

Fuente: Elaboración propia

Etapla 6: Con los datos obtenidos en las etapas anteriores se estimó el nivel de iluminación, también conocido como iluminación media en cada una de las zonas evaluadas en la PPL, el que se obtuvo por medio de la utilización de la siguiente ecuación:

$$(18) \quad E = \frac{\phi_T \times F_u \times F_m}{S}$$

Dónde:

E = Nivel Iluminación (lux)

ϕ_T = Total de lúmenes incidentes sobre una superficie (lm)

S = Superficie (m²)

F_u = Factor de utilización

F_m = Factor de mantenimiento

En la tabla 5.21 se encuentra la iluminación media actual obtenida para cada uno de los locales de la PPL, al observar los resultados se concluyó que el promedio de iluminación media, al momento del estudio en la PPL era cercano a 155 (lux), que además un 95,24% de los locales analizados no cumplía con la Norma Chilena 4/2003 [SEC03] y el DS N° 594, el cual en su artículo 103 indica que el nivel de iluminación media debe ser de 300 (lux) para este tipo de industrias y trabajos, siendo que sólo el local de la zona de mezclado ubicado en el segundo piso de la planta 6 cumplía con los valores de iluminación media requeridos.

Tabla 5.21. Tabla nivel Iluminación media actual al momento del estudio en la PPL.

Planta	Piso	Nivel Iluminación (lux)
	3	95
1	2	114
	Zona Estanques	218
	Zona Molinos	85
	3	145
2	2	106
	Zona Estanques	240
	TIP	167
	Zona Estanques 2°	215
3	Zona Molinos 2°	92
	Zona Estanques 1°	238
	Zona Molinos 1°	46
4	1	245
	Bodegas 2°	87
6	Zona Mezclado 2°	339
7	1	18
	3	120
	2	133
	1	235
	Zona Envasado	175
8	1	151

Fuente: Elaboración propia

Debido a lo anteriormente mencionado, en la empresa se tomó como acción inmediata la solicitud de un levantamiento de los valores de iluminación media para la totalidad de las plantas, para de esta manera corroborar los datos obtenidos y proceder a corregir tal situación.

5.2.2. Análisis malas prácticas operacionales presentes en el sistema de iluminación de la PPL

En el sector de iluminación, también se analizaron las malas prácticas operacionales que ocurrían en la PPL, ya que si bien en la etapa de evaluación del sistema actual de iluminación al interior de la planta se determinó que la luminosidad media se encontraba con valores inferiores a los indicados en la Norma Chilena 4/2003 [SEC03] y el DS N° 594, ese análisis fue enfocado a aquellos momentos que la luz natural no era suficiente para que las tareas diarias en planta se realizaran de manera adecuada.

Sin embargo, una situación recurrente al circular por algunas plantas es encontrar lámparas encendidas a horas que la iluminación natural era suficiente, especialmente en época estival, llegando en ocasiones a funcionar durante toda la jornada laboral.

Si bien, la primera solución que se pensó fue apagar las luces, esto no era tan simple. Al revisar la situación de las lámparas en la planta quedaron en evidencia otros problemas. El primero era que los interruptores en su gran mayoría se encontraban en paneles alejados de los puestos de trabajo, lo que provocaba que si se deseaba apagar las lámparas de una planta los operarios tenían que dejar sus tareas para ir a realizar tal acción. El segundo problema encontrado fue que los paneles de los interruptores eran demasiado engorrosos, con indicaciones difíciles de entender lo que provocaba que al acudir a encender las lámparas de una planta fuese más fácil para los operarios encender todas que buscar la correspondiente a su lugar de trabajo. Por otro lado en el sector en donde se volvían a encender las luces pasaba desapercibido para los trabajadores puesto estos se encontraban preocupados de realizar sus tareas diarias en vez de andar mirando al techo y percatarse de tal situación. En este punto es necesario recalcar que en el año circula mucho personal temporal en la empresa que desconoce la ubicación y sectorización de los interruptores.

5.2.3. Alternativas de ahorro de energía en el sistema de iluminación en el interior de la PPL

Para poder establecer las oportunidades de ahorro en el sistema de iluminación al interior de la PPL de Tricolor S.A. se comenzó por determinar la situación actual al momento del estudio. El primer valor necesario de calcular fue la demanda energética total asociada a las lámparas en funcionamiento en cada una de las subplantas analizadas, para llegar a este dato fue necesario extraer, de las tablas 5.18.a y 5.18.b del apartado 5.2.1 del presente escrito, la cantidad total de lámparas por cada una de las potencias instaladas en la PPL.

Al multiplicar la potencia unitaria de cada una de ellas por el total existente en la planta fue posible obtener la demanda total del sistema de iluminación, la cual dio un valor de 19,2 kW para mayor detalle ver la tabla 5.22.

Tabla 5.22. Tabla demanda actual de las lámparas utilizadas al momento del estudio en la PPL.

Lámparas en PPL			
Potencia	20 (W)	40 (W)	160 (W)
Cantidad	16 (uds.)	160 (uds.)	78 (uds.)
Demanda Total	19,2 (kW)		

Fuente: Elaboración propia

Una vez conocida la demanda total de las lámparas utilizadas al interior de la PPL, se determinó la demanda teórica que debiese haber existido para que se cumpliera la iluminación media en todas las áreas de trabajo analizadas, considerando que el resultado de la evaluación del sistema de iluminación nos arrojó que la luminosidad media de la planta se encontraba con valores inferiores a los requeridos por la Norma Chilena 4/2003 [SEC03] y el artículo 103 del DS N°594.

En la tabla 5.23 se encuentra la estimación de la demanda que generarían para la empresa el total de lámparas que debiesen estar siendo utilizadas en la planta. Se llegó a este valor aumentando la cantidad de lámparas según cada potencia instalada hasta llegar a cumplir con la iluminación media óptima o los valores más cercanos a ella, dando una demanda estimada de 40,36 kW totales.

Tabla 5.23. Tabla demanda teórica de las lámparas que debiesen ser utilizadas en la PPL.

Lámparas en PPL			
Potencia	20 (W)	40 (W)	160 (W)
Cantidad	30 (uds.)	486 (uds.)	127 (uds.)
Demanda Total	40,36 (kW)		

Fuente: Elaboración propia

Ya inferida la demanda, se tuvo que calcular la inversión necesaria para cumplir tal situación, para ello se trabajó con valores promedios de mercado para cada una de las luminarias necesarias de instalar en la PPL, lo que dio un valor total de \$17.200.000. En la tabla 5.25 se especifican por cada piso, según cada planta, la

cantidad de lámparas necesarias para cumplir la iluminación media manteniendo la tecnología base, además de la iluminación media teórica que se obtendría con esa cantidad de lámparas.

Tabla 5.24. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL.

Inversión			
20 (W)	40 (W)	160 (W)	Potencia
14 (uds.)	326 (uds.)	49 (uds.)	Cantidad
\$ 40.000	\$ 60.000	\$ 140.000	Valor
\$ 17.200.000			Total inversión

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.25. Tabla iluminación media teórica de la PPL

Planta	Piso	20 (W)	40 (W)	160 (W)	Nivel Iluminación (Lux)
1	3	-	20 (uds.)	-	317
	2	-	44 (uds.)	-	313
	Zona Estanques	-	32 (uds.)	-	303
	Zona Molinos	-	44 (uds.)	-	311
2	3	-	24 (uds.)	10 (uds.)	301
	2	-	16 (uds.)	21 (uds.)	303
	Zona Estanques	2 (uds.)	16 (uds.)	14 (uds.)	305
	TIP	-	34 (uds.)	-	316
3	Zona Estanques 2°	-	2 (uds.)	11 (uds.)	311
	Zona Molinos 2°	-	10 (uds.)	21 (uds.)	313
	Zona Estanques 1°	10 (uds.)	14 (uds.)	7 (uds.)	311
	Zona Molinos 1°	6 (uds.)	50(uds.)	-	306
4	1	-	16 (uds.)	-	327
	Bodegas 2°	4 (uds.)	34 (uds.)	-	315
6	Zona Mezclado 2°	-	16 (uds.)	-	339
	1	8 (uds.)	44 (uds.)	-	303
7	3	-	6 (uds.)	6 (uds.)	310
	2	-	12 (uds.)	13 (uds.)	313
	1	-	14 (uds.)	8 (uds.)	304
	Zona Envasado	-	26 (uds.)	11 (uds.)	305
8	1	-	12 (uds.)	5 (uds.)	308

Fuente: Elaboración propia

Con la demanda actual y teórica del sistema de iluminación al interior de la PPL, más la inversión necesaria para cumplir con la iluminación media en la planta en base a un aumento de la tecnología utilizada al momento del estudio, se pudo comenzar a desarrollar cada alternativa de ahorro posible para la empresa, las cuales se procede a detallar a continuación:

1^{era} alternativa: Como primera alternativa para ahorrar energía en la PPL se analizó el impacto de pintar las paredes y los techos de las plantas de colores claros, esto ya que la elección del color adecuado para estas áreas es de gran importancia, puesto diferentes colores tienen distintas reflectancias. El blanco es aquel que tiene la reflectancia más alta (del orden del 90 %), mientras que los colores oscuros tienen porcentajes menores.

Pintar las paredes y techos de color claro permitiría un ahorro energético dado que proporcionan un mayor nivel de iluminación en el local con menor cantidad de lámparas, además los locales serían más confortables y esto ayudaría a crear un medio ambiente de trabajo más grato.

Para lograr tal situación, se planteó que lo ideal para lograr una reflexión adecuada de la luz en las plantas, sería utilizar colores muy claros para el techo del orden de un 80 a un 90% de reflectancia y un tono pálido para las paredes entre un 50 a 80 %, evitando que existan grandes diferencias de luminosidad entre ambos y teniendo cuidado de no utilizar materiales o pinturas cuyas superficies causarían reflejos o brillos.

En las tablas 5.26.a y 5.26.b se encuentran especificadas por cada piso, según cada planta, la cantidad de lámparas necesarias para cumplir la iluminación media manteniendo la tecnología base y además la iluminación media teórica que se obtendría con esa cantidad de lámparas.

Tabla 5.26.a. Tabla cantidad de lámparas a instalar e iluminación media teórica obtenida al interior de la PPL luego de pintar las paredes y techos de la planta.

Planta	Piso	20 (W)	40 (W)	160 (W)	Nivel Iluminación (lux)
1	3	2 (uds.)	18 (uds.)	-	307
	2	-	40 (uds.)	-	305
	Zona Estanques	-	30 (uds.)	-	302
	Zona Molinos	-	40 (uds.)	-	305

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.26.b. Tabla cantidad de lámparas a instalar e iluminación media teórica obtenida al interior de la PPL luego de pintar las paredes y techos de la planta.

Planta	Piso	20 (W)	40 (W)	160 (W)	Nivel Iluminación (lux)
	3	2 (uds.)	20 (uds.)	10 (uds.)	303
2	2	-	12 (uds.)	21 (uds.)	304
	Zona Estanques	3 (uds.)	12 (uds.)	14 (uds.)	302
	TIP	-	32 (uds.)	-	305
	Zona Estanques 2°	-	4 (uds.)	10 (uds.)	303
3	Zona Molinos 2°	-	8 (uds.)	20 (uds.)	308
	Zona Estanques 1°	10 (uds.)	10 (uds.)	7 (uds.)	303
	Zona Molinos 1°	4 (uds.)	50 (uds.)	-	305
4	1	-	14 (uds.)	-	314
	Bodegas 2°	4 (uds.)	28 (uds.)	-	302
6	Zona Mezclado 2°	-	14 (uds.)	-	305
	1	8 (uds.)	44 (uds.)	-	308
7	3	-	6 (uds.)	6 (uds.)	318
	2	-	6 (uds.)	13 (uds.)	301
	1	-	12 (uds.)	7 (uds.)	313
	Zona Envasado	-	24 (uds.)	10 (uds.)	307
8	1	-	10(uds.)	5 (uds.)	315

Fuente: Elaboración propia

Con el dato total de las lámparas necesarias de instalar, si se implementase la 1^{era} alternativa de ahorro de energía en la PPL, se procedió a estimar la nueva demanda teórica (ver tabla 5.27) que se obtendría al llevar las instalaciones de la PPL una vez pintadas las paredes y techos de la PPL. Se llegó a este valor aumentando la cantidad de lámparas según cada potencia instalada hasta llegar a cumplir con la iluminación media óptima o los valores más cercanos a ella, dando una demanda teórica estimada de 37,7 kW.

Al comparar este valor con la demanda teórica que debiese haber existido para que se cumpliera la iluminación media en todas las áreas de trabajo analizadas (ver tabla 5.23), se concluyó que como consecuencia de la alternativa de pintar los paredes y techos, la empresa disminuiría su demanda energética en un 6,59%, que corresponde a 2,66 kW.

Tabla 5.27. Tabla demanda teórica de las lámparas a instalar en la PPL luego de pintar las paredes y techos.

Lámparas en PPL			
Potencia	20 (W)	40 (W)	160 (W)
Cantidad	33 (uds.)	434 (uds.)	123 (uds.)
Demanda Total	37,7 (kW)		

Fuente: Elaboración propia

Ya estimada la demanda teórica, se calculó la inversión necesaria para instalar el total de lámparas definidas en la tabla 5.27, para ello se trabajó con valores promedios de mercado para cada de ellas, lo que dio un valor total de \$15.200.000, para más detalle ver tabla 5.28.

Tabla 5.28. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL luego de pintar las paredes y techos.

Inversión			
20 (W)	40 (W)	160 (W)	Potencia
17 (uds.)	274 (uds.)	45 (uds.)	Cantidad
\$ 40.000	\$ 60.000	\$ 140.000	Valor
\$ 15.200.000			Total Inversión

Fuente: Elaboración propia

2^{da} alternativa: Como segunda alternativa para ahorrar energía en la PPL, se analizó el impacto de pintar las paredes y los techos de las plantas de colores claros conjuntamente con un mantenimiento regular y programado que asegurara la limpieza y funcionalidad de las luminarias y superficies para así poder mejorar el factor de mantenimiento presente al momento del estudio en los sectores analizados, puesto al recorrer la PPL se pudo observar: que los tragaluzes no se limpiaban por lo que difícilmente dejaban pasar suficiente luz, misma situación ocurría con las paredes de las plantas lo que ayudaba a la disminución de los niveles de iluminación y por último las lámparas utilizadas en planta no recibían mantención.

Esta situación es importante, puesto hay que considerar que el paso del tiempo hace que disminuya la EE de un sistema de iluminación, debido a la depreciación del flujo luminoso de las lámparas a lo largo de su vida útil, si a esto le agregamos una disminución atribuida a la acumulación de polvo sobre las propias lámparas, las superficies de las luminarias encargadas del control del flujo luminoso y

las superficies que forman techos y paredes la iluminación inicial de una habitación puede sufrir una reducción de su iluminación inicial del orden del 50%.

En la tabla 5.29 es posible observar la nueva demanda teórica que se generaría al llevar las instalaciones de la PPL a cumplir con los niveles de luminosidad exigida, después de haber pintado las paredes y haber mejorado los factores de mantenimiento de las áreas analizadas, para obtener este valor se multiplico la potencia unitaria de cada una de las lámparas necesarias a instalar bajo esta alternativa por el total de ellas, dando un valor de 32,22 kW. Al comparar este valor con la demanda teórica que debiese haber existido para que se cumpliese la iluminación media en todas las áreas de trabajo analizadas (ver tabla 5.23), se concluyó que como consecuencia de la alternativa de pintar los paredes y techos, la empresa disminuiría su demanda energética en un 20,17%, que corresponde a 8,14 kW.

En tanto en las tablas 5.30.a y 5.30.b se encuentran especificadas por cada piso, según cada planta, la cantidad de lámparas necesarias e iluminación media teórica que se obtendría al aplicar las medidas ya planteadas. Ya inferida la demanda, se tuvo que calcular la inversión necesaria para cumplir tal situación, para ello se trabajó con valores promedios de mercado para cada una de las luminarias necesarias de instalar en la PPL, lo que dio un valor total de \$10.580.000, para más detalle ver tabla 5.31.

Tabla 5.29. Tabla demanda teórica de las lámparas utilizadas en la PPL al pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Lámparas en PPL			
Potencia	20 (W)	40 (W)	160 (W)
Cantidad	27 (uds.)	372 (uds.)	105 (uds.)
Demanda Total	32,22 (kW)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.30.a. Tabla cantidad de lámparas a instalar e iluminación media teórica de la PPL al pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Planta	Piso	20 (W)	40 (W)	160 (W)	Iluminación Media (Lux)
1	3	-	16 (uds.)	-	303
	2	-	34 (uds.)	-	302
	Zona Estanques	-	26 (uds.)	-	305
	Zona Molinos	-	34 (uds.)	-	303

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.30.b. Tabla cantidad de lámparas a instalar e iluminación media teórica de la PPL al pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Planta	Piso	20 (W)	40 (W)	160 (W)	Iluminación Media (Lux)
	3	2 (uds.)	16 (uds.)	9 (uds.)	306
2	2	-	10 (uds.)	18 (uds.)	303
	Zona Estanques	3 (uds.)	10 (uds.)	12 (uds.)	302
	TIP	-	28 (uds.)	-	312
	Zona Estanques 2°	-	6 (uds.)	8 (uds.)	309
3	Zona Molinos 2°	-	10 (uds.)	16 (uds.)	304
	Zona Estanques 1°	10 (uds.)	8 (uds.)	6 (uds.)	304
	Zona Molinos 1°	4 (uds.)	42 (uds.)	-	301
4	1	-	12 (uds.)	-	314
	Bodegas 2°	4 (uds.)	24 (uds.)	-	305
6	Zona Mezclado 2°	-	12 (uds.)	-	305
	1	4 (uds.)	38 (uds.)	-	301
	3	-	6 (uds.)	5 (uds.)	323
7	2	-	6 (uds.)	11 (uds.)	304
	1	-	10 (uds.)	6 (uds.)	310
	Zona Envasado	-	18 (uds.)	9 (uds.)	300
8	1	-	6 (uds.)	5 (uds.)	313

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.31. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL al pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Inversión			
20 (W)	40 (W)	160 (W)	Potencia
11 (uds.)	212 (uds.)	27 (uds.)	Cantidad
\$ 40.000	\$ 60.000	\$ 140.000	Valor
\$ 10.580.000			Total Inversión

Fuente: Elaboración propia

3^{ra} alternativa: Como tercera alternativa para ahorrar energía en la PPL se analizó el impacto de cambiar las luminarias actuales por unas más eficientes, específicamente LEDs, manteniendo el pintar las paredes y los techos de las plantas de

colores claros conjuntamente con un mantenimiento regular y programado que asegurara la limpieza y funcionalidad de las luminarias y superficies para así poder mejorar el factor de mantenimiento presente al momento del estudio en los sectores analizados.

Las luminarias seleccionadas para determinar los ahorros en esta tercera alternativa, corresponden a focos LEDs a prueba de explosión, de una potencia de 36 W con un flujo luminoso de 1600 lm, para ver las tablas utilizadas para calcular el factor de utilización de estas luminarias ir al anexo 21.

En la tabla 5.32 se encuentran especificadas por cada piso, según cada planta, la cantidad de lámparas necesarias para cumplir la iluminación media en base a la nueva tecnología planteada, además de la iluminación media teórica que se obtendría.

Tabla 5.32. Tabla iluminación media teórica de la PPL al cambiar las luminarias por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Planta	Piso	36 (W)	Iluminación Media (Lux)
1	3	9 (uds.)	333
	2	19 (uds.)	300
	Zona Estanques	15 (uds.)	321
	Zona Molinos	18 (uds.)	316
2	3	26 (uds.)	304
	2	42 (uds.)	302
	Zona Estanques	29 (uds.)	307
	TIP	13 (uds.)	319
3	Zona Estanques 2°	19 (uds.)	306
	Zona Molinos 2°	31 (uds.)	307
	Zona Estanques 1°	18 (uds.)	316
	Zona Molinos 1°	21 (uds.)	302
4	1	6 (uds.)	303
	Bodegas 2°	13 (uds.)	303
6	Zona Mezclado 2°	7 (uds.)	326
	1	20 (uds.)	300
7	3	12 (uds.)	301
	2	24 (uds.)	305
	1	16 (uds.)	301
	Zona Envasado	27 (uds.)	306
8	1	13 (uds.)	314

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidas las cantidades de luminarias LEDs necesarias de instalar para cumplir los niveles de luminosidad exigida bajo el supuesto de que la 3^{ra} alternativa se llegase a implementar, se procedió a calcular la nueva demanda teórica que se generaría con este cambio obteniendo un valor de 14,33 kW (ver tabla 5.33). Al comparar este valor con la demanda teórica que debiese haber existido para que se cumpliera la iluminación media en todas las áreas de trabajo analizadas (ver tabla 5.23), se concluyó que como consecuencia de la esta alternativa, la empresa disminuiría su demanda energética en un 64,5%, que corresponde a 26,03 kW.

Ya estimada la demanda teórica, se calculó la inversión necesaria para instalar el total de luminarias LEDs definidas en la tabla 5.33, para ello se trabajó con valores promedios de mercado para cada de ellas, lo que dio un valor total de \$185.070.000, para más detalle ver tabla 5.34. Si bien la disminución de la demanda energética de esta alternativa es mucho mayor que las anteriormente analizadas, la inversión necesaria para que esta se llegase a implementar también es mucho mayor, de echo al compararla con la primera alternativa aumenta su valor en un 1.117,57%.

Tabla 5.33. Tabla demanda teórica de la PPL al cambiar las luminarias por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Lámparas en PPL	
Potencia	36 (W)
Cantidad	398 (uds.)
Demanda Total	14,33 (kW)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.34. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL al cambiar las luminarias por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Inversión	
36 (W)	Potencia
398 (uds.)	Cantidad
\$ 465.000	Valor
\$ 185.070.000	Total inversión

Fuente: Elaboración propia

4^{ta} alternativa: Como cuarta alternativa para ahorrar energía en la PPL se analizó el impacto de reemplazar las lámparas actuales por unas más eficientes, específicamente LEDs, agregando las luminarias con la misma tecnología que fuesen necesarias, manteniendo el pintar las paredes y los techos de las plantas de colores claros conjuntamente con un mantenimiento regular y programado que asegurara la limpieza y funcionalidad de las luminarias y superficies para así poder mejorar el factor de mantenimiento presente al momento del estudio en los sectores analizados.

Las lámparas y luminarias seleccionadas para determinar los ahorros en esta cuarta alternativa, corresponden a LEDs a prueba de explosión de una potencia de 18 y 27 W con un flujo luminoso de 1620 y 1100 lm, respectivamente, para ver las tablas utilizadas para calcular el factor de utilización de estas luminarias ir al anexo 21.

En las tablas 5.35.a y 5.25.b se encuentran especificadas por cada piso, según cada planta, la cantidad de lámparas necesarias para cumplir la iluminación media en base a la nueva tecnología planteada, además de la iluminación media teórica que se obtendría con ellas.

Tabla 5.35.a. Tabla iluminación media teórica de la PPL al reemplazar las lámparas por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Planta	Piso	18 (W)	27 (W)	Iluminación Media (Lux)
1	3	14 (uds.)	-	318
	2	30 (uds.)	-	306
	Zona Estanques	24 (uds.)	-	301
	Zona Molinos	28 (uds.)	-	302
2	3	32 (uds.)	7 (uds.)	303
	2	42 (uds.)	9 (uds.)	300
	Zona Estanques	32 (uds.)	14 (uds.)	309
	TIP	50 (uds.)	-	311
3	Zona Estanques 2°	22 (uds.)	8 (uds.)	323
	Zona Molinos 2°	24 (uds.)	7 (uds.)	316
	Zona Estanques 1°	22 (uds.)	7 (uds.)	316
	Zona Molinos 1°	34 (uds.)	-	315
4	1	12 (uds.)	-	343
	Bodegas 2°	26 (uds.)	-	303
6	Zona Mezclado 2°	10 (uds.)	-	334
	1	28 (uds.)	-	303

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.35.b. Tabla iluminación media teórica de la PPL al reemplazar las lámparas por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Planta	Piso	18 (W)	27 (W)	Iluminación Media (Lux)
	3	14 (uds.)	3 (uds.)	305
7	2	28 (uds.)	7 (uds.)	301
	1	26 (uds.)	7 (uds.)	311
	Zona Envasado	34 (uds.)	6 (uds.)	300
8	1	16 (uds.)	3 (uds.)	323

Fuente: Elaboración propia

Definida la cantidad de lámparas LEDs necesarias de instalar para cumplir los niveles de luminosidad exigida bajo el supuesto de que la 4^{ta} alternativa se llegue a implementar, se calculó la nueva demanda teórica que se generaría con este reemplazo, obteniendo un valor de 11,97 kW (ver tabla 5.36). Al comparar este valor con la demanda teórica que debiese haber existido en la planta para que se cumpliera la iluminación media en todas las áreas de trabajo analizadas (ver tabla 5.23), se concluyó que el implementar esta alternativa disminuiría la demanda energética de la PPL en un 70,34%, que corresponde a 28,39 kW.

Tabla 5.36. Tabla demanda teórica de la PPL al reemplazar las lámparas por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Lámparas en PPL		
Potencia	18 (W)	27 (W)
Cantidad	548 (uds.)	78 (uds.)
Demanda Total	11,97 (kW)	

Fuente: Elaboración propia

Con la demanda teórica estimada, se procedió a calcular la inversión necesaria para instalar el total de lámparas LEDs definidas en la tabla 5.36, para ello se trabajó con valores promedios de mercado para cada de ellas, lo que dio un valor total de \$30.289.080, para más detalle ver tabla 5.37. Si se llegase a implementar esta alternativa la disminución de la demanda de energía es mucho mayor que las analizadas anteriormente y además de esto la inversión no aumenta tanto, puesto al

compararla con la primera alternativa aumenta su valor en un 99,27% y con respecto a la tercera alternativa disminuye su valor en un 83,63%, para más detalle ver tabla 5.37.

Tabla 5.37. Tabla inversión para cumplir iluminación media teórica de la PPL al reemplazar las lámparas por LEDs, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies.

Inversión Reemplazo		Inversión Nuevas	
18 (W)	27 (W)	18 (W)	Potencia
160 (uds.)	78 (uds.)	388 (uds)	Cantidad
\$ 33.320	\$ 54.740	\$ 106.640	Valor
		\$ 30.289.080	Total inversión

Fuente: Elaboración propia

5^{ta} alternativa: La quinta alternativa para ahorrar energía en la PPL se enfocó en reducir los consumos de energía en iluminación, por usos innecesarios de esta, ya que como fue mencionado en el análisis de las malas prácticas operacionales era una situación muy recurrente ver que las lámparas permanecen encendidas durante casi toda la jornada laboral, a pesar que existían horas del día en que no eran necesarias.

Para solucionar tal situación se planteó, como primera opción, el instaurar una conciencia y mayor preocupación por los consumos de energía para todos los trabajadores en planta, sin embargo como esta es una alternativa que si bien es de costo gratuito o muy bajo no asegura que los ahorros se mantengan en el tiempo, por lo que también se vio la posibilidad de instalar un sistema de control de iluminación, basado en interruptores horarios instalados por zonas, según los niveles de iluminación requerida a distintas horas del día.

5.2.4. Determinación ahorros en el sistema de iluminación en el interior de la PPL

Una vez explicadas cada una de las alternativas de ahorro de energía en el sistema de iluminación al interior de la PPL se procedió a valorizar cada una de ellas, para lo cual y ante la ausencia de un dato exacto del tiempo de uso de éste sistema, se debieron plantear cuatro supuestos de funcionamiento para las lámparas existentes en la planta al momento del estudio. El supuesto 1 establecía que el sistema de iluminación funcionaba diariamente 1 h, lo que correspondía a un aproximado de 20 h mensuales y 240 h anuales. En tanto que el supuesto 2, 3 y 4 planteaban tiempos de funcionamiento diarios de 3, 5 y 8 h, respectivamente. Para un mayor detalle de estos supuestos, ver la tabla 5.38.

Tabla 5.38. Tabla de supuestos de tiempo funcionamiento de lámparas de la PPL.

	Tiempo de funcionamiento		
	Diario	Mensual	Anual
Supuesto 1	1 (h)	20 (h)	240 (h)
Supuesto 2	3 (h)	60 (h)	720 (h)
Supuesto 3	5 (h)	100 (h)	1.200 (h)
Supuesto 4	8 (h)	160 (h)	1.920 (h)

Fuente: Elaboración propia

En este pasaje, se hace necesario mencionar que para determinar los ahorros en el sistema de iluminación al interior de la PPL, para las cuatro primeras alternativas definidas en la sección 5.2.3 del presente trabajo, se trabajó bajo el supuesto de que las lámparas utilizadas demandaban teóricamente en energía 40,36 kW, valor que corresponde a la demanda real que debiese haber existido en la planta manteniendo la tecnología actual, pero llevando al sistema a cumplir tanto con la Norma Chilena 4/2003 [SEC03] y el artículo 103 del DS N° 594.

En el caso de la última alternativa de ahorro energético en el sistema de iluminación en el interior de la PPL, se trabajó con una demanda actual por mantener las lámparas encendidas de 19,2 kW. Por último, para obtener los ahorros anuales se utilizó un costo de energía de 79,213 \$/kWh y un costo mensual por demanda de 921,1 \$/kW/mes, estos datos fueron obtenidos de la publicación N° 52 de tarifas de suministro de CONAFE, correspondiente al mes de diciembre del año 2011.

1^{era} Alternativa: Corresponde al pintado de techos y paredes de la PPL. En el caso del supuesto 1, que establecía que el sistema de iluminación funcionaba 1 h al día, si se implementase ésta alternativa se podría obtener una reducción en la demanda de energía de 2,66 kW diarios, lo que permitiría un ahorro energético anual de 638,4 kWh, el cual al ser valorizado daba un ahorro anual de \$79.971. En tanto que para el supuesto 2, 3 y 4 el ahorro anual dio \$181.110, \$282.249 y \$433.958, respectivamente. Para un mayor detalle de los resultados obtenidos revisar las tablas 5.39.a y 5.39.b.

Tabla 5.39.a. Tabla ahorros anuales al pintar los techos y paredes de la PPL para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.

	Supuesto 1	Supuesto 2
Demanda Energía Teórica Inicial	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Energía Alternativa 1	37,7 (kW)	37,7 (kW)
Reducción Demanda Energía	2,66 (kW)	2,66 (kW)
Tiempo de Funcionamiento Anual	240 (h)	720 (h)
Ahorro Anual de Energía	638,4 (kWh)	1.915,20 (kWh)
Ahorro anual total	\$ 79.971	\$ 181.110

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.39.b. Tabla ahorros anuales al pintar los techos y paredes de la PPL para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.

	Supuesto 3	Supuesto 4
Demanda Energía Teórica Inicial	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Energía Alternativa 1	37,7 (kW)	37,7 (kW)
Reducción Demanda Energía	2,66 (kW)	2,66 (kW)
Tiempo de Funcionamiento Anual	1.200 (h)	1.920 (h)
Ahorro Anual de Energía	3.192,00 (kWh)	5.107,20 (kWh)
Ahorro anual total	\$ 282.249	\$ 433.958

Fuente: Elaboración propia

2^{da} Alternativa: Corresponde al pintado de techos y paredes de la PPL conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de las superficies y luminarias de la planta. Para caso del supuesto 1, que establecía que el sistema de iluminación funcionaba 1 h al día, si se implementase ésta alternativa se podría obtener una reducción en la demanda de energía de 8,14 kW diarios, lo que permitiría un ahorro energético anual de 1.953,60 kWh, el cual al ser valorizado daba un ahorro anual de \$244.724.

En tanto que para el supuesto 2, 3 y 4 el ahorro anual dio \$554.225, \$863.762 y \$1.327.977, respectivamente. Para un mayor detalle de los resultados obtenidos revisar las tablas 5.40.a y 5.40.b.

Tabla 5.40.a. Tabla ahorros anuales al pintar las paredes y techos conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies de la PPL, para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.

	Supuesto 1	Supuesto 2
Demanda Energía Teórica Inicial	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Energía Alternativa 2	32,22 (kW)	32,22 (kW)
Reducción Demanda Energía	8,14 (kW)	8,14 (kW)
Tiempo de Funcionamiento Anual	240 (h)	720 (h)
Ahorro Anual de Energía	1.953,60 (kWh)	5.860,80 (kWh)
Ahorro anual total	\$ 244.724	\$ 554.225

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.40.b. Tabla ahorros anuales al pintar las paredes y techos conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies de la PPL, para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.

	Supuesto 3	Supuesto 4
Demanda Energía Teórica Inicial	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Energía Alternativa 2	32,22 (kW)	32,22 (kW)
Reducción Demanda Energía	8,14 (kW)	8,14 (kW)
Tiempo de Funcionamiento Anual	1.200 (h)	1.920 (h)
Ahorro Anual de Energía	9.768,00 (kWh)	15.628,80 (kWh)
Ahorro anual total	\$ 863.726	\$ 1.327.977

Fuente: Elaboración propia

Alternativa 3: Corresponde al cambio de las luminarias actuales al momento del estudio por unas más eficientes, específicamente LEDs, manteniendo el pintar las paredes y los techos de las plantas de colores claros conjuntamente con un mantenimiento regular y programado que asegurara la limpieza y funcionalidad de las luminarias y superficies de la PPL. En el caso del supuesto 1, que establecía que el sistema de iluminación funcionaba 1 h al día, si se implementase ésta alternativa se podría obtener una reducción en la demanda de energía de 28,39 kW diarios, lo que permitiría un ahorro energético anual de 6.247,2 kWh, el cual al ser valorizado daba un ahorro anual de \$782.574. En tanto que para el supuesto 2, 3 y 4 el ahorro anual dio \$1.772.293, \$2.762.012y \$4.246.590, respectivamente. Para un mayor detalle de los resultados obtenidos revisar las tablas 5.41.a y 5.41.b.

Tabla 5.41.a. Tabla ahorros anuales al cambiar las luminarias por LEDs en la PPL, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies, para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.

	Supuesto 1	Supuesto 2
Demanda Energía Teórica Inicial	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Energía Alternativa 4	14,33 (kW)	14,33 (kW)
Reducción Demanda Energía	26,03 (kW)	26,03 (kW)
Tiempo de Funcionamiento Anual	240 (h)	720 (h)
Ahorro Anual de Energía	6.247,20 (kWh)	18.741,60 (kWh)
Ahorro anual total	\$ 782.574	\$ 1.772.293

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.41.b. Tabla ahorros anuales al cambiar las luminarias por LEDs en la PPL, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies, para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.

	Supuesto 3	Supuesto 4
Demanda Energía Teórica Inicial	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Energía Alternativa 4	14,33 (kW)	14,33 (kW)
Reducción Demanda Energía	26,03 (kW)	26,03 (kW)
Tiempo de Funcionamiento Anual	1.200 (h)	1.920 (h)
Ahorro Anual de Energía	31.236,00 (kWh)	49.977,60 (kWh)
Ahorro anual total	\$ 2.762.012	\$ 4.246.590

Fuente: Elaboración propia

Alternativa 4: Corresponde al reemplazo de las lámparas actuales al momento del estudio por unas más eficientes, específicamente LEDs agregando las luminarias con la misma tecnología que fuesen necesarias, manteniendo el pintar las paredes y los techos de las plantas de colores claros conjuntamente con un mantenimiento regular y programado que asegurara la limpieza y funcionalidad de las luminarias y superficies de la PPL. Para el caso del supuesto 1, que establecía que el sistema de iluminación funcionaba 1 h al día, si se implementase ésta alternativa se podría obtener una reducción en la demanda de energía de 28,39 kW diarios, lo que permitiría un ahorro energético anual de 6.813,60 kWh, el cual al ser valorizado daba un ahorro anual de \$853.526. En tanto que para el supuesto 2, 3 y 4 el ahorro anual dio \$1.932.977, \$3.012.429 y \$4.631.606, respectivamente. Para un mayor detalle de los resultados obtenidos revisar las tablas 5.41.a y 5.41.b.

Tabla 5.42.a. Tabla ahorros anuales al reemplazar las lámparas por LEDs en la PPL, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies, para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.

	Supuesto 1	Supuesto 2
Demanda Energía Teórica Inicial	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Energía Alternativa 4	11,97 (kW)	11,97 (kW)
Reducción Demanda Energía	28,39 (kW)	28,39 (kW)
Tiempo de Funcionamiento Anual	240 (h)	720 (h)
Ahorro Anual de Energía	6.813,60 (kWh)	20.440,80 (kWh)
Ahorro anual total	\$ 853.526	\$ 1.932.977

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.42.b. Tabla ahorros anuales al reemplazar las lámparas por LEDs en la PPL, manteniendo el pintar las paredes y techos, conjuntamente con un mantenimiento regular y programado de luminarias y superficies, para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.

	Supuesto 3	Supuesto 4
Demanda Energía Teórica Inicial	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Energía Alternativa 4	11,97 (kW)	11,97 (kW)
Reducción Demanda Energía	28,39 (kW)	28,39 (kW)
Tiempo de Funcionamiento Anual	960 (h)	1920 (h)
Ahorro Anual de Energía	27.254,40 (kWh)	54.508,80 (kWh)
Ahorro anual total	\$ 2.472.703	\$ 4.631.606

Fuente: Elaboración propia

Al tomar como dato base una demanda teórica de 40,36 kW en el sector de iluminación analizado de la PPL de Tricolor S.A. y ver los resultados porcentualmente, se obtiene que es posible obtener reducciones aproximadas de un 7% en el caso de la propuesta uno, de un 20 y un 64 % para las propuestas dos y tres respectivamente, por último en el caso de la propuesta cuatro un 70 % de reducción de la demanda de energía.

Alternativa 5: Corresponde a la reducción de los consumos innecesarios de energía que provenían de la permanencia de las lámparas encendidas durante toda la jornada laboral a pesar de que no fuese necesario su uso. Estas reducciones se podrían conseguir tanto por buenas prácticas al interior de la organización como por la instalación de un sistema de control de iluminación.

Como en la empresa no se llevaba un registro del funcionamiento del sistema de iluminación, se trabajó en base a tres supuestos de reducción de las horas en que las luminarias permanecían encendidas, es decir para el supuesto 1 se planteó que en la planta las luminarias permanecían activas 2 h al día, a pesar de contar con luz natural y que su uso no era necesario, en tanto que el para el supuesto 2 y 3 las reducción de las horas diarias de funcionamiento eran de 4 y 6, respectivamente.

En la tabla 5.43 se encuentran expresados los posibles ahorros anuales en energía para cada uno de los tiempos de funcionamiento, es decir en el caso del primer supuesto el ahorro anual que se obtendría por apagar dos horas diarias las lámparas al interior de la planta de pinturas líquidas de Tricolor S.A.

Tabla 5.43. Tabla ahorros anuales al reducir las horas de funcionamiento del sistema de iluminación en la PPL.

	Supuesto 1	Supuesto 2	Supuesto 3
Potencia Instalada	19,2 (kW)	19,2 (kW)	19,2 (kW)
Reducción de Horas Encendidas al Día	2 (h)	4 (h)	6 (h)
Energía Ahorrada	38,4 (kWh)	76,8 (kWh)	115,2 (kWh)
Ahorro Anual por Reducción de Energía	\$ 730.027	\$ 1.460.054	\$ 2.190.081

Fuente: Elaboración propia

6. Propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética

6.1. Cambios propuestos para el sector motor

Las propuestas de cambios para el sector de los motores de la PPL, fueron dirigidas a dos tópicos; el primero correspondía un recambio de los motores actuales por unos más eficientes y el segundo sector era instaurar un sistema de control al operar los motores asociados a los estanques de terminación, puesto que durante el levantamiento de los procesos quedo a la vista que estos funcionaban sin llevar un control de sus horas de operación.

Entre las opciones de recambio se analizó la opción de cambiar los motores actuales por uno de IE2 o por uno de IE3. Para este análisis se tomó como caso base que los motores actuales no presentaban rebobinados, tenían un rebobinado o dos.

Tabla 6.1. Tabla periodos de recuperación simple de la inversión asociada al cambiar el motor eléctrico del PH3 por uno de eficiencia mejorada o de alta eficiencia.

M-PH3		
Periodo de recuperación simple de la inversión IE2	FC4-0	5,59 (años)
	FC4-1	4,51 (años)
	FC4-2	3,74 (años)
Periodo de recuperación simple de la inversión IE3	FC4-0	5,28 (años)
	FC4-1	4,38 (años)
	FC4-2	3,70 (años)

Fuente: Elaboración propia

Para ir explicando estos cambios se seleccionó el motor asociado a equipo dispersor de la sub-planta dos denominado PH-3, en la tabla 6.1 se encuentra el periodo de recuperación simple de este motor en el caso de ser reemplazado por un motor de IE2 o por uno de IE3, en cada uno de los casos expuestos. Bajo el supuesto que este motor eléctrico no presentase ningún rebobinado se obtuvo un periodo de recuperación simple de 5,59 años para la opción de reemplazo de un motor de eficiencia mejorada y 5,28 en el para la opción de uno de alta eficiencia. Se obtuvieron esos valores, al dividir el valor de adquisición del motor eléctrico por el ahorro anual por concepto de demanda de energía para cada una de las alternativas de eficiencia.

En el caso de la opción IE2 su valor promedio de mercado al momento del estudio era de \$3.946.679 y el ahorro anual alcanzaba los \$705.518 para el caso de no tener rebobinado, en tanto que para la opción IE3 era de \$4.341.347 y su ahorro anual era de \$821.602, para más información en el anexo 22 se encuentran los valores de adquisición de los motores de reemplazo para cada uno de los equipos analizados y eficiencias propuestas, según cotización realizada a la empresa Lureye en febrero del año 2012 . Por otro lado en el anexo 23 se encuentran los periodos de recuperación simple de la inversión de cada uno de estos motores.

Debido al periodo de evaluación de las propuestas de recambio y por opción de la empresa, se seleccionaron como opciones válidas para su reemplazo, los motores que presentasen una recuperación simple inferior a cinco años.

En el caso de las malas prácticas operacionales se analizó la viabilidad de instalar interruptores o temporizadores horarios en los equipos analizados. El valor de cada uno de estos tiene un precio de mercado cercano a los \$200.000, debiéndose considerar una inversión inicial por concepto de costo en equipos de \$3.200.000. Debido a que las demandas de energía, de cada uno de los motores analizados, dieron distintos valores se optó por instalar estos equipos en un universo de 16 motores, los cuales serán identificados más adelante.

6.2. Ahorros por modificaciones propuestas para el sector motor

Al realizar el análisis de los ahorros que se obtendrían en la empresa al hacer un recambio de los motores, se identificó que era más conveniente optar por los de IE3. En la tabla 6.2 se encuentran los ahorros anuales que se lograrían al instalar estos motores para cada uno de los casos de rebobinados analizados, dando un ahorro anual de \$9.452.369 por el cambio de 27 uds. bajo el supuesto que los motores de uso actual de los equipos analizados no hubiesen tenidos rebobinados, \$12.782.243 por el cambio de 31 uds. bajo el supuesto que los motores presentasen un rebobinado y \$17.320.581 por 39 uds. bajo el supuesto que presentasen dos rebobinados.

En cuanto a la inversión necesaria para cada uno de los conjuntos de motores seleccionados, en base al supuesto de los rebobinados que pudiesen tener, daba un valor total de \$29.550.142, \$39.740.135 y \$52.484.486 para la opción FC-0, FC-1 y FC-2, respectivamente.

Tabla 6.2. Tabla ahorros e inversión de los motores propuestos a cambiar.

	Caso		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2
N° Motores	27 (uds.)	31 (uds.)	39 (uds.)
Ahorros Anuales	\$ 9.452.369	\$ 12.782.243	\$ 17.320.581
Inversión Total	\$ 29.550.142	\$ 39.740.135	\$ 52.484.486

Fuente: Elaboración propia

En el anexo 24 se encuentran individualizados los ahorros para cada uno de los motores propuestos para ser reemplazados, en base al supuesto de que el motor de uso actual no presentase rebobinados, tuviese un rebobinado o tuviese dos rebobinados.

En tanto, al analizar la propuesta de automatizar el funcionamiento de los motores asociados a estanques de terminación quedó a la vista que presentan distintos ahorros anuales por lo que se optó por elegir el universo de motores que presentaban mayores ahorros y a la vez eran más ocupados en la empresa.

En la tabla 6.3 se puede observar el ahorro que se generaría en la empresa al implantar esta propuesta, analizando cada uno de los casos de funcionamiento de los equipos. Cada uno de los casos analizó un universo de 16 motores, pero bajo el supuesto de que los equipos asociados a cada uno de ellos operasen sin control de su tiempo operacional 5,7 y 10 minutos al día, por lo que al instalar un interruptor horario se podían obtener ahorros anuales de \$435.079, \$611.620 y \$879.364. Para un desglose de esta información ir al anexo 25.

Tabla 6.3. Tabla ahorros y costos al automatizar el funcionamiento de los estanques de terminación.

Caso	N° Motores	Ahorros anuales	Inversión Total
5 minutos	16 (uds.)	\$ 435.079	\$ 3.200.000
7 minutos	16 (uds.)	\$ 611.620	\$ 3.200.000
10 minutos	16 (uds.)	\$ 879.364	\$ 3.200.000

Fuente: Elaboración propia

6.3. Cambios propuestos para el sector iluminación

Para el sistema de iluminación de la PPL de Tricolor S.A., se propuso primero que todo llevar el sistema de iluminación a cumplir la Norma Chilena 4/2003 [SEC03] y el DS N° 594, llevando su nivel de iluminación media a 300 (lux). Como primera propuesta se planteó que se pintaran las paredes y los techos de las plantas de colores claros conjuntamente con un mantenimiento regular y programado que asegurara la limpieza y funcionalidad de las luminarias y superficies para así poder mejorar el factor de mantenimiento de éstas.

Se optó por recomendar esto, ya que en base a las alternativas de ahorro propuestas en la sección 5.2.3 del presente trabajo, se podían conseguir disminuciones de 8,4 kW de demanda instalada, basándose en la tecnología base al momento del estudio, otro aspecto a considerar es que corresponden a propuestas que no requieren mayores inversiones por parte de la empresa, ya que la pintura la pueden obtener de reprocesar algún lote rechazado y los mantenimientos de las luminarias se deben regularizar por parte del departamento de mantención. En base a tales cambios, se determinó que la mejor opción para obtener ahorros en el sistema de iluminación corresponde a la propuesta cuatro, la que permitiría a la empresa una reducción de su demanda de energía de alrededor del 70%.

La segunda propuesta va enfocada a automatizar el sistema de iluminación, ya que es una práctica recurrente que las lámparas permanezcan encendidas durante el día a pesar de contar con la iluminación natural necesaria. Esto sucede principalmente por olvidos y/o mala señalización de los interruptores, los cuales se encuentran en tableros alejados de las zonas de trabajo.

Se optó por recomendar la automatización, ya que si bien es posible instaurar una cultura de buen uso de la energía al interior de las plantas productivas, se requiere un compromiso por parte de toda la organización y por lo observado al momento del levantamiento de datos es un proceso que requerirá de tiempo puesto en el camino se van a encontrar con distintas trabas. La inversión necesaria para esta propuesta corresponde al valor de adquisición de 16 interruptores horarios, con un valor promedio de mercado de \$200.000, dando un monto total de \$3.200.000.

6.4. Ahorros por modificaciones propuestas para el sector iluminación

Para la obtención de los ahorros que se generarían al modificar el sistema de iluminación actual de la planta, al momento del estudio, se debió hacer el cálculo en base a todos los supuestos de funcionamiento diario planteados en la sección 5.2.4 del presente trabajo.

Tabla 6.4.a. Tabla ahorro y costo por modificación del sistema de iluminación, para un supuesto de funcionamiento diario de 1 y 3 horas.

	Supuesto 1	Supuesto 2
Demanda Situación Actual	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Situación Eficiente	11,97 (kW)	11,97 (kW)
Reducción de Demanda	28,39 (kW)	28,39 (kW)
Horas Operación Anual	240 (hrs.)	720 (hrs.)
Energía Ahorrada	6.813,60 (kWh)	20.440,80 (kWh)
Ahorro Anual	\$ 853.526	\$ 1.932.977
Inversión Total	\$ 30.289.080	\$ 30.289.081

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 6.4.a y 6.4.b se encuentran los ahorros que se podrían obtener al reemplazar las lámparas de la PPL, además del monto total de la inversión necesaria para cumplir tal situación, tales ahorros se tomaron en base a una demanda teórica obtenida al llevar a la planta a una iluminación media de 300 (lux), en tanto que la inversión total correspondía a \$30.289.080, válida para los cuatro supuesto de funcionamiento diario analizados.

En el supuesto 1, se planteaba que el sistema de iluminación funcionaba 1 h al día, era posible obtener una reducción por la demanda de 28,39 kW, permitiendo un ahorro anual de energía de 6.813,6 kWh, el que al ser valorizado daba un ahorro de \$853.526 al año. Para el supuesto 2 el ahorro daba un monto de \$1.932.977, en base a un ahorro anual de energía de 20.440,8 kWh, este planteaba que el sistema de iluminación funcionaba 3 h al día.

El tercer supuesto, se planteaba que el sistema de iluminación funcionaba 5 h al día, permitiendo un ahorro anual de energía de 27.254,4 kWh, el que al ser valorizado daba un ahorro de \$2.472.703 al año. Por último en el supuesto 4, basado en que el sistema de iluminación funcionaba 8 h al día dio un ahorro anual de \$4.631.606, considerando un ahorro de energía de 54.508,8 kWh.

Tabla 6.4.b. Tabla ahorro y costo por modificación del sistema de iluminación, para un supuesto de funcionamiento diario de 5 y 8 horas.

	Supuesto 3	Supuesto 4
Demanda Situación Actual	40,36 (kW)	40,36 (kW)
Demanda Situación Eficiente	11,97 (kW)	11,97 (kW)
Reducción de Demanda	28,39 (kW)	28,39 (kW)
Horas Operación Anual	960 (hrs.)	1920 (hrs.)
Energía Ahorrada	27.254,40 (kWh)	54.508,80 (kWh)
Ahorro Anual	\$ 2.472.703	\$ 4.631.606
Inversión Total	\$ 30.289.080	\$ 30.289.080

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado en el análisis de los ahorros que se obtendrían al automatizar el sistema actual de iluminación de la planta, se realizó bajo los supuestos de que las lámparas permanecían encendidas dos, cuatro o seis horas diarias, sin que fuese necesario. Estos supuestos dieron como resultado que la empresa gastaba innecesariamente desde \$730.027 hasta \$2.190.081 anuales debido a las malas prácticas presentes en el sistema de iluminación.

7. Evaluación Financiera

En las siguientes páginas se expondrá como se determinó la rentabilidad de la inversión necesaria para llevar a cabo cada una de las propuestas de ahorro en energía, para lo cual se realizaron análisis de sus flujos futuros, calculando para cada uno de ellos su valor actual neto (en lo adelante VAN), que es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión, además de su tasa interna de retorno (en lo adelante TIR). Cabe mencionar que para cada una de las propuestas se evaluaron distintos escenarios de riesgo, los cuales se detallan en la tabla 7.1.

Tabla 7.1. Tabla escenarios de riesgo para evaluación financiera de cada una de las propuestas de eficiencia energéticas para la PPL.

Propuesta	Escenario		
	Optimista	Pesimista	Normal
Propuesta de reemplazo de motores en la PPL	Los motores presentaban a los menos dos rebobinados	Los motores no presentaban ningún rebobinado	Los motores presentaban a los menos un rebobinado
Propuesta de automatización motores PPL	Los equipos asociados a los motores eléctricos funcionaban innecesariamente a los menos 10 min diarios	Los equipos asociados a los motores eléctricos funcionaban innecesariamente a los menos cinco min diarios	Los equipos asociados a los motores eléctricos funcionaban innecesariamente a los menos siete min diarios
Propuesta de reemplazo lámparas de la PPL	El sistema de iluminación funcionaba a lo menos ocho horas diarias	El sistema de iluminación funcionaba a lo menos una hora diaria	El sistema de iluminación funcionaba a lo menos cinco horas diarias
Propuesta de automatización del sistema de iluminación de la PPL	El sistema de iluminación funcionaba innecesariamente a los menos seis horas diarias	El sistema de iluminación funcionaba innecesariamente a los menos dos horas diarias	El sistema de iluminación funcionaba innecesariamente a los menos cuatro horas diarias

Fuente: Elaboración propia

7.1. Evaluación financiera propuesta de reemplazo de motores eléctricos en la PPL.

En la propuesta de reemplazo de los motores eléctricos por unos más eficientes que los utilizados al momento del estudio en la PPL, se trabajó con los siguientes flujos:

- **Ahorros anuales en energía:** Corresponde a los montos anuales que se ahorrarían en la empresa al cambiar el conjunto de motores seleccionados por unos de IE3 (ver tabla 7.2), estos valores se abordaron desde tres escenarios.

El optimista que planteaba que los motores utilizados en la PPL, al momento del estudio, presentaban a los menos dos rebobinados. El pesimista que planteaba que los motores no presentaban rebobinados y el normal que consideraba que presentaban a lo menos un rebobinado.

Tabla 7.2. Tabla ahorros anuales en energía, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.

Escenario	Ahorros anuales en energía
Optimista	\$ 17.320.581
Pesimista	\$ 9.452.369
Normal	\$ 12.782.243

Fuente: Elaboración propia

- **Ahorros por costos de mantención:** Son los montos, expresados en las tablas 7.3.a y 7.3.b, que se ahorrarían en la empresa por concepto de mantención al reemplazar los motores. Este valor implicó que se debieron obtener los costos asociados a un equipo estándar v/s uno eficiente, considerando el historial de fallas de éstos en base a las dos principales reparaciones que han tenido, las cuales corresponden a encamisados y rebobinados, para mayor claridad ver el anexo 26 y 27.

Los escenarios con los que se abordaron estos ahorros, fueron: El optimista que planteaba que los motores utilizados en la PPL, al momento del estudio, presentaban a los menos dos rebobinados. El pesimista que planteaba que los motores no presentaban rebobinados y el normal que consideraba que presentaban a lo menos un rebobinado.

Se utilizó un horizonte de 8 años, ya que corresponde al tiempo en que los motores eficientes pasan a ser poco confiables. Puesto que transcurrido del orden de 3 años, desde adquirido un nuevo motor, igualmente se vuelve poco confiable, momento

en que el motor debe ser sometido a un mantenimiento correctivo para que, luego de realizado éste, el motor vuelva a tener buenas características de confiabilidad durante los tres años siguientes y una vez finalizado este tiempo pasa a ser poco confiable.

Tabla 7.3.a. Tabla ahorros anuales por costos de mantención, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.

Escenario	Ahorros Anuales por Costos de Mantención			
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Optimista	\$ 7.059.432	\$ 7.057.608	\$ 6.901.924	\$ 0
Pesimista	\$ 4.657.613	\$ 4.656.409	\$ 4.553.694	\$ 0
Normal	\$ 5.458.219	\$ 5.456.809	\$ 5.336.437	\$ 0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.3.b. Tabla ahorros anuales por costos de mantención, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.

Escenario	Ahorros Anuales por Costos de Mantención			
	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Optimista	\$ 7.059.432	\$ 7.057.608	\$ 6.901.924	\$ 0
Pesimista	\$ 4.657.613	\$ 4.656.409	\$ 4.553.694	\$ 0
Normal	\$ 5.458.219	\$ 5.456.809	\$ 5.336.437	\$ 0

Fuente: Elaboración propia

- **Depreciación:** Es la baja de valor que sufre un bien ya sea por su uso, transcurso del tiempo u obsolescencia de mismo (ver tabla 7.4), para el cálculo de este valor se utilizó el método de la línea recta el que supone que cada año de la vida útil del activo se deprecia en una cantidad constante [Sullivan04]. Para el cálculo de estos flujos, también se consideraron tres puntos de vista, una vida útil de 15 años [SII03] y un valor residual al final de ésta de \$0.

Los escenarios con los que se abordaron estos ahorros, fueron: El optimista que corresponde al monto de depreciación anual que se obtendrían al reemplazar el universo de motores, bajo el supuesto de que los equipos actuales tuviesen a lo menos dos rebobinados. El pesimista que son los montos de depreciación que se ganarían al sustituir el universo de motores, bajo el supuesto de que los equipos actuales no tuviesen rebobinados y el normal que corresponde al monto por concepto de depreciación que se obtendrían al reemplazar el universo de motores, bajo el supuesto de que los equipos actuales tuviesen a lo menos un rebobinado.

Tabla 7.4. Tabla depreciación, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.

Escenario	Depreciación
Optimista	\$ 3.498.966
Pesimista	\$ 1.970.009
Normal	\$ 2.649.342

Fuente: Elaboración propia

- Total inversión: corresponde al monto por adquirir los equipos eficientes (ver tabla 7.5) para cada uno de los puntos de vista, más un recargo del 25% por sobre el valor de compra, que corresponden a las obras de ingeniería y montaje necesarias para la instalación de los motores en la PPL.

Los escenarios con los que se abordaron estos ahorros, fueron: El optimista que corresponde a la inversión por concepto de adquisición, ingeniería y montaje pensando que los motores de uso actual, al momento del estudio, presentaban a lo menos dos rebobinados. El pesimista que agrupa los montos de adquisición y montaje, más el valor de compra del universo de motores bajo el supuesto de que los de uso actual, al momento del estudio, no presentaban ningún rebobinado y el normal donde se tienen los montos de adquisición e instalación de reemplazar los motores de uso actual, bajo el supuesto de que estos presentaban a los menos un rebobinado al momento del estudio.

Tabla 7.5. Tabla de total inversión, en base a tres escenarios, por reemplazar los motores seleccionados por unos de IE3.

Escenario	Total Inversión
Optimista	\$ 65.605.607
Pesimista	\$ 36.937.678
Normal	\$ 49.675.169

Fuente: Elaboración propia

En base a los flujos mencionados, con un costo de capital del 12% y aumentos en los precios de energía de un 2,9% anual (variación promedio de los últimos 10 años de precio nudo de energía en el SIC [SIE13]). En la tabla 7.6. se encuentran expresados los resultados obtenidos, para cada uno de los puntos de vista, en la propuesta de reemplazo de los motores eléctricos de uso actual al momento del estudio por unos más eficientes.

Tabla 7.6. Tabla índices rentabilidad financiera de la propuesta de reemplazar los motores de la PPL.

Punto de vista	VAN	TIR
Optimista	\$ 81.511.968	32,57%
Pesimista	\$ 46.153.124	33,06%
Normal	\$ 59.801.047	32,06%

Fuente: Elaboración propia

Al revisar los resultados y tomar como referencia el indicador financiero VAN esta propuesta resultaba recomendable en cada uno de los escenarios, por otro lado se observó que al ser la tasa de costo de capital de un 12% la propuesta continuaba siendo recomendable, puesto la rentabilidad era superior en cada uno de los supuestos analizados.

7.2. Evaluación financiera propuesta de automatización de los motores asociados a malas prácticas en la PPL.

Para la propuesta de automatización de los motores asociados a malas prácticas en la PPL, se trabajó con los siguientes flujos:

- Ahorros anuales en energía: Corresponde a los montos anuales que se ahorrarían en la empresa al automatizar el conjunto de motores seleccionados (ver tabla 7.7), estos valores se abordaron desde tres escenarios. El optimista que corresponde a los ahorros obtenidos pensando que los motores funcionaban innecesariamente a lo menos 10 minutos diarios. El pesimista que agrupa los ahorros bajo el supuesto de que los motores trabajaban innecesariamente a lo menos cinco minutos diarios y en donde recaen los ahorros alcanzados pensando que los motores marchaban innecesariamente a los menos siete minutos al día.

Tabla 7.7. Tabla ahorros anuales en energía, en base a tres escenarios, por automatizar el conjunto de motores seleccionados en la PPL.

Escenario	Ahorros anuales en energía
Optimista	\$ 879.364
Pesimista	\$ 435.079
Normal	\$ 611.620

Fuente: Elaboración propia

- **Depreciación:** Para el cálculo de estos flujos, no se consideraron puntos de vistas, puesto que la inversión era la misma para cada uno de ellos. El resultado obtenido fue de \$355.556 anual, con una vida útil de nueve años [SII03] y un valor residual al final de ésta de \$0.

- **Total inversión:** corresponde al monto por adquirir los equipos, más un recargo del 25% por sobre el valor de compra, que corresponden a las obras de ingeniería y montaje necesarias para la instalación de los motores en la PPL, lo que dio un valor de \$4.000.000, valor utilizable para los tres puntos de vistas.

En base a los flujos mencionados, con un costo de capital del 12% y aumentos en los precios de energía de un 2,9% anual (variación promedio de los últimos 10 años de precio nudo de energía en el SIC [SIE13]). En la tabla 7.8. se encuentran expresados los resultados obtenidos para cada uno de los puntos de vista en la propuesta de automatización de los motores de la PPL.

Tabla 7.8. Tabla índices rentabilidad financiera de la propuesta de automatizar los motores de la PPL.

Punto de vista	VAN	TIR
Optimista	\$ 753.357	16,58%
Pesimista	-\$ 1.529.992	1,2%
Normal	-\$ 622.681	7,91%

Fuente: Elaboración propia

Al revisar los resultados y tomar como referencia el indicador financiero VAN esta propuesta resultaba recomendable sólo en el escenario optimista, puesto en el normal y pesimista la decisión era contraria. También se pudo determinar que la tasa de costo de capital del 12% tampoco resultaba recomendable en la opción normal y pesimista al ser comparadas con su TIR correspondiente, en tanto que la opción optimista claramente dio un resultado ventajoso. Sin embargo, la recomendación en este caso no se hizo muy clara, puesto al poner la propuesta en distintos escenarios nos dio acciones diferentes.

7.3. Evaluación financiera propuesta de reemplazo de las lámparas utilizadas en la PPL al momento del estudio por unas más eficientes.

Como tercera propuesta se calcularon los índices de rentabilidad para la opción de reemplazo de las lámparas actuales al momento del estudio por unas más eficientes, específicamente LEDs agregando las luminarias con la misma tecnología que fuesen necesarias, manteniendo el pintar las paredes y los techos de las plantas de colores claros conjuntamente con un mantenimiento regular y programado que asegurara la limpieza y funcionalidad de las luminarias y superficies de la PPL. Los flujos utilizados para este caso, fueron los siguientes:

- Ahorros anuales en energía: Corresponde a los montos anuales que se ahorrarían en la empresa al adoptar la alternativa cuatro de ahorro de energía en el sistema de iluminación al interior de la PPL por un periodo de 15 años (ver tabla 7.9), estos valores se abordaran desde escenarios.

El optimista que corresponde a los ahorros obtenidos pensando que el sistema de iluminación, al momento del estudio, funcionaba a lo menos ocho horas diarias. El pesimista que agrupa los ahorros obtenidos bajo el supuesto de que el sistema de iluminación, al momento del estudio, funcionaba a lo menos una hora al día y el normal en donde recaen los ahorros conseguidos pensando que el sistema de iluminación, al momento del estudio, funcionaba a lo menos cinco horas diariamente.

Tabla 7.9. Tabla ahorros anuales en energía, en base a tres escenarios, por reemplazar las lámparas utilizadas en la PPL al momento del estudio por unas más eficientes.

Escenario	Ahorros anuales en energía
Optimista	\$4.631.606.
Pesimista	\$853.526.
Normal	\$2.472.703.

Fuente: Elaboración propia

- Ahorros por costos de lámparas de repuestos: Son los montos anuales que se ahorrarían por concepto reemplazo en nuevas lámparas en base a la tecnología actual a lo largo de la vida útil de los LEDs (ver tabla 7.10), la cual es de aproximadamente 100.000 horas v/s las 5.000 y 18.000 de la tecnología base a la hora del estudio, en tanto que el costo de repuesto de un tubo era de \$700 y de una campana \$3.451 por unidad (valor promedio de mercado al momento del estudio).

Los valores obtenidos, en cada uno de los escenarios, son los siguientes: El optimista, corresponde a los ahorros por concepto de reemplazo en nuevas lámparas a lo largo de la vida útil de los LEDs, considerando un funcionamiento diario de ocho horas. El pesimista, agrupa los ahorros por concepto de reemplazo en nuevas lámparas a lo largo de la vida útil de los LEDs, bajo el supuesto de un funcionamiento de una hora al día y normal, corresponde a los ahorros que se obtendrían al reemplazar las lámparas, bajo el supuesto de que la tecnología de uso actual, al momento del estudio, permanecían encendidas a lo menos cinco horas diariamente.

Tabla 7.10. Tabla ahorros por costos de lámparas de repuesto, en base a tres escenarios, por reemplazar las lámparas utilizadas en la PPL al momento del estudio por unas más eficientes.

Escenario	Ahorros anuales por costos de lámparas de repuesto
Optimista	\$ 13.201.104
Pesimista	\$ 1.650.138
Normal	\$ 6.600.552

Fuente: Elaboración propia

- Depreciación: Es la baja de valor que sufre un bien ya sea por su uso, transcurso del tiempo u obsolescencia de mismo (ver tabla 7.11), en el cálculo de estos flujos, se consideraron tres puntos de vista, una vida útil de 100.000 hr y un valor residual al final de ésta de \$0. Los valores obtenidos para cada uno de los supuestos fueron:

El optimista, que corresponde al monto de depreciación anual que se obtendrían al reemplazar las lámparas, bajo el supuesto de ocho horas al día. El pesimista, son los montos de depreciación que se ganarían al sustituir las lámparas actuales, estimando que estas funcionaban a lo menos una hora diaria y normal, que corresponde al monto por concepto de depreciación que se obtendrían al adoptar la alternativa cuatro, bajo un supuesto de cinco horas encendidas al día.

Tabla 7.11. Tabla depreciación, en base a tres escenarios, por reemplazar las lámparas utilizadas en la PPL al momento del estudio por unas más eficientes.

Escenario	Depreciación
Optimista	\$ 581.550
Pesimista	\$ 72.693
Normal	\$ 363.469

Fuente: Elaboración propia

- **Total inversión:** corresponde al monto por adquirir los equipos eficientes, más un recargo del 25% por sobre el valor de compra, que corresponden a las obras de ingeniería y montaje necesarias para la instalación de las nuevas lámparas, lo que dio un resultado de \$37.861.350 para los tres puntos de vista.

Tabla 7.12. Tabla índices rentabilidad financiera de la propuesta de reemplazo de lámparas en la PPL.

Punto de vista	VAN	TIR
Optimista	\$ 61.341.242	40,67%
Pesimista	-\$ 22.034.438	-0,73%
Normal	\$ 18.983.574	20,50%

Fuente: Elaboración propia

En base a los flujos mencionados, con un costo de capital del 12% y aumentos en los precios de energía de un 2,9% anual (variación promedio de los últimos 10 años de precio nudo de energía en el SIC [SIE13]). En la tabla 7.12. se encuentran expresados los resultados obtenidos para cada uno de los puntos de vista en la propuesta de reemplazo de lámparas en la PPL.

Cuando se revisaron los resultados y se tomó como referencia el indicador financiero VAN de cada opción, en la situación normal y optimista la propuesta resultaba recomendable, pero en un escenario pesimista la decisión resultaba contraria. Por otro lado se pudo observar que al ser la tasa de oportunidad de un 12% la opción pesimista tampoco resultaba recomendable al ser comparada con su TIR correspondiente, en tanto que las otras opciones claramente se observaron ventajosas. En esta propuesta la recomendación no es muy clara, puesto al ponerla en distintos escenarios dio acciones diferentes.

7.4. Evaluación financiera propuesta de automatización del sistema de iluminación de la PPL.

Como última propuesta se evaluó la alternativa de automatización la iluminación en la PPL, en la cual se trabajó con los siguientes flujos:

- **Ahorros anuales en energía:** Corresponde a los montos anuales que se ahorrarían en la empresa al automatizar la iluminación en la PPL (ver tabla 7.13), estos valores se abordaron desde tres escenarios.

El optimista que corresponden a los ahorros obtenidos pensando que el sistema de iluminación funcionaba innecesariamente a lo menos 6 horas diarias. El pesimista, que agrupa los ahorros bajo el supuesto de que el sistema de iluminación permanecía encendido innecesariamente a lo menos dos diarias y el normal, en donde recaen los ahorros alcanzados pensando que el sistema de iluminación funcionaba innecesariamente a lo menos 4 horas al día.

Tabla 7.13. Tabla ahorros anuales en energía, en base a tres escenarios, por automatizar el sistema de iluminación de la PPL.

Escenario	Ahorros anuales en energía
Optimista	\$ 2.190.081
Pesimista	\$ 730.027
Normal	\$ 1.460.054

Fuente: Elaboración propia

- **Depreciación:** Para el cálculo de estos flujos, no se consideraron puntos de vistas, puesto que la inversión era la misma para cada uno de ellos. El resultado obtenido fue de \$388.889 anual, con una vida útil de nueve años [SII03] y un valor residual al final de ésta de \$0.

- **Total inversión:** corresponde al monto por adquirir los equipos, más un recargo del 25% por sobre el valor de compra, que corresponden a las obras de ingeniería y montaje necesarias para la instalación de los interruptores horarios en la PPL, lo que dio un valor de \$4.375.000, valor utilizable para los tres puntos de vistas.

En base a los flujos mencionados, con un costo de capital del 12% y aumentos en los precios de energía de un 2,9% anual (variación promedio de los últimos 10 años de precio nudo de energía en el SIC [SIE13]). En la tabla 7.14. se encuentran expresados los resultados obtenidos para cada uno de los puntos de vista en la propuesta de automatización del sistema de iluminación en la PPL.

Tabla 7.14. Tabla índices rentabilidad financiera de la propuesta de automatizar el sistema de iluminación de la PPL.

Punto de vista	VAN	TIR
Optimista	\$ 7.136.568	45,87%
Pesimista	-\$ 260.157	10,45%
Normal	\$ 3.384.680	29,30%

Fuente: Elaboración propia

Al revisar y tomar como referencia el indicador financiero VAN de cada opción, en la situación normal y optimista la propuesta resultaba recomendable, pero en un escenario pesimista la decisión no era la misma. En tanto, al ser la tasa de oportunidad de un 12% la opción pesimista tampoco resultaba recomendable al ser comparada con su TIR correspondiente, en tanto que las otras opciones claramente se observaron ventajosas. En esta propuesta la recomendación no es muy clara, puesto al ponerla en distintos escenarios dio acciones diferentes.

Como parte de la evaluación financiera, resulto interesante someter las propuestas de mejora a otra variable que podría influir en la toma de decisiones. Debido su importancia en la determinación de los montos de ahorro, por concepto de disminuciones en demanda de energía, se optó por una posible variación en los precios de la energía eléctrica, tomando el supuesto de que estos costos tenían un aumento o una disminución reiterativa, año a año.

Los valores utilizados fueron de un 5,38% y un 10,76% de aumento anual en los precios de la electricidad, además de una disminución de un 2,7% y un 5,31% al año por el mismo concepto. Tales valores fueron tomados de las variaciones reales del precio nudo de energía eléctrica en el SIC, de la última década [SIE13].

En el caso del mayor aumento, en las tablas 7.15.a y 7.15.b se encuentran los resultados de los índices de rentabilidad financiera para cada una de las propuestas. Al revisar y tomar como referencia, tanto el VAN como el TIR, de cada opción para cada propuesta, resulta recomendable implementar el reemplazo de los motores en la PPL, visto desde los tres escenarios analizados, dando un resultado suficiente para suplir el costo de oportunidad de la inversión requerida y además provocar un beneficio agregado.

En cambio, con las tres propuestas restantes la recomendación no resulta del todo clara, ya que al enfrentarlas a distintos escenarios, daban distintas acciones, puesto en el contexto pesimista los resultados obtenidos no alcanzaban a compensar los costos de oportunidad fijados por la empresa.

Tabla 7.15.a. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, frente a un aumento anual de los precios de la electricidad.

Propuesta de reemplazo de motores en la PPL	Punto de vista	Aumento de un 5,38% anual		Aumento de un 10,76% anual	
		VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 98.857.161	34,57%	\$ 149.778.484	39,02%
	Pesimista	\$ 55.618.925	35%	\$ 83.408.241	39,31%
	Normal	\$ 72.601.454	34,05%	\$ 110.180.374	38,46%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.15.b. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, frente a un aumento anual de los precios de la electricidad.

Propuesta de automatización motores PPL	Punto de vista	Aumento de un 5,38% anual		Aumento de un 10,76% anual	
		VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 1.148.317	18,62%	\$ 2.160.277	23,09%
	Pesimista	-\$ 1.334.580	3,00%	-\$ 833.896	6,91%
	Normal	-\$ 347.977	9,82%	\$ 355.867	13,99%
Propuesta de reemplazo lámparas de la PPL	Punto de vista	VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 65.979.430	41,46%	\$ 79.596.034	43,39%
	Pesimista	-\$ 21.179.700	0,18%	-\$ 18.670.391	2,52%
	Normal	\$ 21.459.791	21,28%	\$ 28.729.369	23,24%
Propuesta de automatización del sistema de iluminación de la PPL	Punto de vista	VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 8.120.226	48,16%	\$ 10.640.542	53,11%
	Pesimista	-\$ 1.706	11,99%	\$ 838.400	16,22%
	Normal	\$ 4.040.452	31,47%	\$ 5.720.663	36,18%

Fuente: Elaboración propia

Al enfrentar las propuestas a una posible disminución en los precios de la energía eléctrica, el reemplazo de motores eléctricos de la PPL continuaba siendo la opción más rentable para la empresa, para cada uno de los escenarios planteados.

Una situación distinta se presentó al revisar la idea de automatizar este sector, ya que no es para nada recomendable bajo ninguna suposición, mientras que las dos propuestas restantes continúan dando resultados poco concretos, ya que al enfrentarlas a distintos escenarios, daban distintas acciones. Para ver los índices de rentabilidad de cada una de las propuestas ver las tabla 7.16.a y 7.16.b.

Tabla 7.16.a. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, frente a una disminución anual de los precios de la electricidad.

Propuesta de reemplazo de motores en la PPL	Punto de vista	Disminución de un 2,7% anual		Disminución de un 5,31% anual	
		VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 52.241.828	28,17%	\$ 42.116.437	26,19%
	Pesimista	\$ 30.179.518	28,82%	\$ 24.653.784	26,92%
	Normal	\$ 38.200.269	27,69%	\$ 30.727.932	25,73%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.16.b. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, frente a una disminución anual de los precios de la electricidad.

Propuesta de automatización motores PPL	Punto de vista	Disminución de un 2,7% anual		Disminución de un 5,31% anual	
		VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	-\$ 688	12,00%	-\$ 295.979	9,87%
	Pesimista	-\$ 1.903.068	-2,79%	-\$ 2.049.168	-4,62%
	Normal	-\$ 1.147.139	3,62%	-\$ 1.352.521	1,64%
Propuesta de reemplazo lámparas de la PPL	Punto de vista	Disminución de un 2,7% anual		Disminución de un 5,31% anual	
		VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 53.514.268	39,07%	\$ 50.806.690	38,42%
	Pesimista	-\$ 23.476.816	-2,38%	-\$ 23.975.777	-2,98%
	Normal	\$ 14.804.941	19,04%	\$ 13.359.430	18,48%
Propuesta de automatización del sistema de iluminación de la PPL	Punto de vista	Disminución de un 2,7% anual		Disminución de un 5,31% anual	
		VAN	TIR	VAN	TIR
	Optimista	\$ 5.258.598	40,71%	\$ 4.523.167	38,30%
	Pesimista	-\$ 897.367	6,06%	-\$ 1.147.602	4,02%
	Normal	\$ 2.132.700	24,39%	\$ 1.642.413	22,11%

Fuente: Elaboración propia

En vista de que se continuaban presentando distintas acciones a seguir frente a una variación de precios de la electricidad, se decidió someter las propuestas a otra situación que se podría presentar en la empresa.

Como nueva alternativa se optó por la posibilidad, de que como consecuencia de una nueva estrategia por parte de Tricolor S.A. para recuperar su posicionamiento en el mercado de pinturas, se optase por trabajar en dos turnos para así aumentar sus niveles de producción y disminuir sus tiempos de respuesta ante pedidos especiales, se pensó en tal posibilidad porque es una práctica que ya se ha ocupado en la empresa.

En esta nueva situación, el reemplazo de motores eléctricos de la PPL continuaba siendo la opción más rentable para la empresa, para cada uno de los escenarios planteados, sumándose a tal situación la automatización tanto de los motores de la PPL como del sistema de iluminación al interior de esta misma. Caso contrario sucede con las propuestas de reemplazo de lámparas, dónde se mantiene la incertidumbre frente a los resultados obtenidos, los que se encuentran en la tabla 7.17.

Tabla 7.17. Tabla de indicadores rentabilidad financiera, propuestas de eficiencia energéticas para la PPL, por trabajar a dos turnos.

Propuesta de reemplazo de motores en la PPL	Punto de vista	VAN	TIR
	Optimista	\$ 187.705.009	54,66%
	Pesimista	\$ 104.806.696	54,88%
	Normal	\$ 138.695.201	53,81%
Propuesta de automatización motores PPL	Punto de vista	VAN	TIR
	Optimista	\$ 5.490.375	41,03%
	Pesimista	\$ 753.357	16,58%
	Normal	\$ 2.618.600	26,84%
Propuesta de reemplazo lámparas de la PPL	Punto de vista	VAN	TIR
	Optimista	\$ 175.832.767	82,95%
	Pesimista	-\$ 8.382.149	7,75%
	Normal	\$ 73.653.876	42,06%
Propuesta de automatización del sistema de iluminación de la PPL	Punto de vista	VAN	TIR
	Optimista	\$ 10.888.456	61,42%
	Pesimista	\$ 3.714.136	31,41%
	Normal	\$ 7.136.568	45,87%

Fuente: Elaboración propia

Al revisar los resultados financieros obtenidos para cada una de las propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética en la PPL de Tricolor S.A., en base a los escenarios planteados y enfrentadas a otras variables, como lo fueron posibles aumentos o disminuciones en los precios de la energía eléctrica, además del caso que en la empresa se aumentasen a dos los turnos de trabajo. Se concluyó que la propuesta de reemplazo de los motores eléctricos por unos más eficientes era la mejor alternativa, ya que fue la que presentó una mejor evaluación financiera en cada uno de los casos a la que fue puesta a prueba, dando una rentabilidad superior al costo de capital planteado por Tricolor S.A.

En la figura 7.1 se encuentran graficados los índices de rentabilidad financieros aplicados a la propuesta de reemplazo de los motores seleccionados en la PPL, bajo un escenario pesimista, en donde se planteaba que los motores analizados al momento del estudio no presentaban ningún rebobinado y por ende su eficiencia era mucho mejor que los otros dos escenarios analizados.

Al enfrentar esta propuesta a otras variables, como lo fueron posibles aumentos o disminuciones en los precios de la energía eléctrica y en el caso de que se aumentasen a dos turnos las horas de trabajo, se concluyó que era recomendable para la empresa implementarla, puesto su indicador financiero VAN era mayor a 0 (línea de meta graficada de color naranja) lo que significaba que la inversión necesaria para llevar a cabo esta propuesta produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida.

Por otro lado se observó que al ser la tasa de costo de capital de la empresa de un 12% (línea de meta graficada de color verde) la propuesta continuaba siendo recomendable, puesto su rentabilidad era mayor que la mínima requerida por Tricolor S.A.

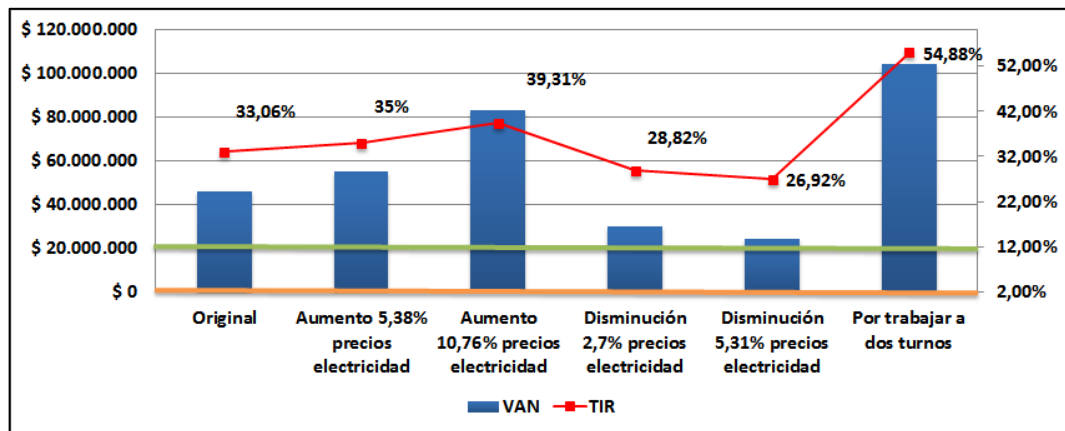


Figura 7.1. Gráfico VAN y TIR, en base a un escenario pesimista, de la propuesta de reemplazo motores eléctricos en la PPL, elaboración propia.

8. Resultados y conclusiones

El presente trabajo analizó las diferentes opciones que permitirían a la planta de pinturas líquidas de Tricolor S.A. operar con una mayor eficiencia, desde un punto de vista eléctrico, mediante un análisis de los equipos utilizados en cada uno de los procesos de su planta, conjuntamente con las prácticas operacionales presentes al momento del estudio. Posteriormente a esto, se procedió a identificar el conjunto de posibles oportunidades de ahorro de energía, estableciendo las inversiones que se requerirán para concretar estas mismas, evaluando si eran o no rentables para la empresa.

Lo primero que se hizo fue determinar la situación actual al momento del estudio en la planta productiva de Tricolor S.A., con respecto a la existencia o no de sistemas eficientes, identificando de manera preliminar que las maquinarias utilizadas presentaban una baja eficiencia operacional, que en la planta productiva no existía un programa preventivo de mantención y que era recurrente observar malas prácticas operacionales.

Una vez definida la situación actual, se analizó la información de los consumos de energía presentes en la empresa, lo que permitió fundamentar con datos duros lo anteriormente planteado, puesto los consumos de este recurso dejaban en evidencia comportamientos anómalos entre las variaciones de producción y consumos energéticos presentes en la planta productiva.

El análisis de esta información también permitió estar al tanto de los tipos de energía utilizada en la compañía y en base a la proporción de estos mismos se optó por enfocarse en el área eléctrica, ya que esta representaba alrededor de un 62% del total de sus consumos. Con este dato, más la distribución de los consumos eléctricos en cada una de las plantas productivas de la empresa, su evolución histórica y la tecnología utilizada en cada una de ellas, se decidió enfocar la búsqueda de oportunidades de implementación de sistemas de eficiencia energética en la PPL, ya que era precisamente en donde se presentaban mayores oportunidades de mejora, enfocándose en el sector motriz y de iluminación de la PPL.

Al analizar los consumos asociados al sector motriz, fue posible establecer que los mayores gastos se registraban en los procesos de dispersión y/o molienda de las pinturas, conjuntamente con los equipos que funcionaban por largos periodos diarios. En el caso del sector de iluminación, se conjeturo que se podría obtener una inmediata disminución de los usos actuales de electricidad, ya que este sector funcionaba la mayor parte del día innecesariamente, sin control alguno.

Es a partir de la información ya mencionada, que se establecieron los equipos y procesos con un alto potencial de ahorro para la empresa. Cabe mencionar, que para

cada alternativa planteada se definió una situación o caso base de comparación, los cuales fueron establecidos en base a la investigación realizada con anterioridad en la planta, más la brindada por la propia empresa.

En el sector de los motores el análisis se centró en dos aspectos, siendo estos la eficiencia de los equipos y el uso que se le daban, lo que derivó en una propuesta de reemplazo de los equipos utilizados al momento del estudio y por otro lado en una idea de aplicar una automatización de estos mismos.

Para poder ver la viabilidad de reemplazar los motores de la PPL, se comenzó con seleccionar el universo de motores a evaluar, optándose por un total de 88 equipos los que representaban un 80,29% del total de la potencia instalada en las plantas. Con estos ya definidos, se procedió a determinar su eficiencia operacional, para lo cual se debieron realizar distintas mediciones y a la vez buscar las alternativas de reemplazo para ellos. Los resultados obtenidos dieron ahorros anuales entre un 20 a un 31% de los consumos anuales, en el caso que reemplazase el conjunto de motores analizados por equipos de IE2 y entre un 26 a un 38%, si es que optase por equipos de IE3, considerando un consumo aproximado de 79 MM\$ en la PPL.

Como reemplazar la totalidad de los motores no se recuperaba fácilmente, debido al costo de adquisición de los mismos se decidió plantear la sustitución de aquellos que tuviesen un periodo de recuperación simple inferior a 5 años y que a la vez fuesen equipos de IE3, dando ahorros anuales que iban entre los 9,45 a 17,32 MM\$ aproximados al año, lo que corresponde a un 11,97% a 21,92% de los consumos eléctricos de la PPL.

Con respecto al uso que se le daban a estos equipos, se encontró que muchos de ellos funcionaban innecesariamente, producto de malas prácticas operacionales y como éstas se centraban en el proceso de terminación y ajustes de las pinturas se propuso automatizar el funcionamiento de los motores asociados a los estanques utilizados en estas etapas del proceso de elaboración de pinturas, al igual que en el caso de los reemplazos el automatizar la totalidad de los equipos no era totalmente rentable y daba un periodo de recuperación muy extenso, por lo que se planteó aplicar esta propuesta en un universo de 16 equipos, considerando distintos supuestos de tiempo de funcionamiento innecesario, obteniendo ahorros anuales que iban desde los \$435.179 a los \$879.634.

En el sector de iluminación se presentaron y evaluaron cinco propuestas de mejora en el uso de la energía eléctrica, siendo seleccionadas la cuarta alternativa que analizaba el impacto de reemplazar las lámparas actuales por unas más eficientes, específicamente LEDs, agregando las luminarias con la misma tecnología que fuesen necesarias, manteniendo el pintar las paredes y los techos de las plantas de colores claros conjuntamente con un mantenimiento regular y programado que asegurara la

limpieza y funcionalidad de las luminarias y superficies para así poder mejorar el factor de mantenimiento presente al momento del estudio en los sectores analizados.

En tanto, que la otra alternativa elegida fue la cinco que se enfocó en reducir los consumos de energía en iluminación, por usos innecesarios de esta, planteando , como primera opción, el instaurar una conciencia y mayor preocupación por los consumos de energía para todos los trabajadores en planta, sin embargo como esta es una alternativa que si bien es de costo gratuito o muy bajo no asegura que los ahorros se mantengan en el tiempo, por lo que también se vio la posibilidad de instalar un sistema de control de iluminación, basado en interruptores horarios instalados por zonas según los niveles de iluminación requerida a distintas horas del día.

Los ahorros que podían generar para la empresa las propuestas del sector de iluminación iban desde los \$853.526 a los \$4.631.606 al año en el caso de la cuarta propuesta, mientras que en la quinta anualmente se podría ahorrar montos desde los \$730.027 hasta \$2.190.081.

Una vez determinados los ahorros de cada una de las propuestas definidas, se procedió a una evaluación financiera de las mismas expuestas a distintos escenarios, en donde se utilizó un horizonte de 15 años, en el caso del recambio de motores y en el reemplazo de las lámparas por unas más eficientes. En tanto que para las otras dos propuestas, el horizonte de evaluación, correspondió a la vida útil de los equipos planteados a utilizar para automatizar tanto el sector motor como el de iluminación. Con respecto al costo de capital utilizado este fue de un 12%, que corresponde a información entregada por la misma empresa.

Al revisar los resultados financieros obtenidos para cada una de las propuestas de aplicación de sistemas de eficiencia energética en la PPL de Tricolor S.A., evaluadas en base a los escenarios planteados y enfrentadas a otras variables, como lo fueron el caso que en la empresa se aumentasen a dos los turnos de trabajo, además de posibles aumentos o disminuciones en los precios de la energía eléctrica. Se concluyó que se debía recomendar la aplicación de la propuesta de reemplazo de los motores eléctricos por unos más eficientes, ya que fue la que presentó una mejor evaluación financiera en cada uno de los casos a la que fue puesta a prueba, dando una rentabilidad superior al costo de capital planteado por Tricolor S.A.

Si en Tricolor S.A. se optase por implementar la propuesta recomendada, sus consumos en energía podrían disminuir anualmente entre un 11,97% a un 21,92%, tomando como base el consumo que presentaba la PPL al momento del estudio, con inversiones por concepto de la compra de los motores eléctricos más los costos de instalación, que iban desde los MM\$ 37 hasta los MM\$ 66 aproximadamente. Además de esto, al aplicar esta propuesta la empresa podría disminuir sus emisiones de CO₂ asociadas a sus consumos eléctricos, entre un 5,42 a un 9,82% tomando como base las emisiones calculas con los datos facilitados por Tricolor S.A. al momento del estudio.

Si bien la empresa puede comercializar estas reducciones, también es importante destacar que tal situación la beneficiaría en una posible utilización de estas disminuciones para plantear una estrategia de marketing. De igual forma es trascendental que pueda reducir su huella de carbono, puesto que en algún momento puede ser exigida por los consumidores de algún mercado, permitiendo el acceso a éste. Probablemente esta situación no se presente en el corto plazo, pero cuando ocurra puede el demostrar que se está reduciendo la huella de carbono puede llegar a ser un requisito fundamental para la entrada a algún, puesto en gran medida, dependerá de la presión que generen sus consumidores, lo que inmediatamente producirá una reacción por parte de los mercados, ya que si en algún momento una gran empresa planteara que no adquiriría nada que no tenga un indicio de un trabajo por disminuir su huella de carbono, todo el mundo comenzaría a preocuparse por ello. Lo más probable es que se haga masivo, cuando los compradores ejerzan una presión hacia los productores.

Asimismo, se recomendó que la empresa realizara estudios de las cargas operacionales efectivas a las cuales funcionaban sus motores eléctricos, debido a que en la mayoría de los casos analizados se determinó que operaban bajo el 55% de carga, llegando a una carga promedio del 48% para el total de los motores estudiados, lo que deja en duda el dimensionamiento de estos equipos, al momento del estudio, lo cual al ser estudiado y analizado podría generar otra fuente de ahorros energéticos para Tricolor S.A.

Finalmente se recomienda evaluar la opción de mejorar las prácticas de mantención que poseen los equipos estudiados, puesto que no sería muy ventajoso para la empresa invertir en la propuesta planteada si estos continúan con las mismas malas prácticas de mantención.

9. Bibliografía

[CEEMA06] Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. *Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios*. Cuba: Editorial Universidad de Cienfuegos, 2006.

[CEPAL09₁] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Situación y Perspectivas de la Eficiencia Energética en América Latina y el Caribe*. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile, 2009.

[CEPAL09₂] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile, 2009.

[CEPAL10] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina*. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile, 2010.

[CEPAL13] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Huella de Carbono, Exportaciones y Estrategias Empresariales Frente al Cambio Climático*. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile, 2013.

[Chapman00] Chapman, S. J. *Máquinas Eléctricas*. España: Mc Graw Hill, 2000.

[CNE12] Comisión Nacional de Energía. *Sistemas eléctricos*. Santiago, 2012. Disponible vía Web en <http://www.cne.cl/energias/electricidad/sistemas-electricos> visitada en Octubre del 2012.

[EIA11] U.S. Energy Information Administration. *Internacional Energy Outlook 2011*. Washington, 2011. Disponible vía Web en http://www.eia.gov/forecasts/archive/ieo11/more_highlights.cfm#world visitada en Octubre 2011.

[FIDE08] Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. *Ventajas y Recomendaciones en el Uso de Motores Eléctricos con el Sello FIDE*. Disponible vía Web en https://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fprocobre.org%2Fes%2Fwp-content%2Fplugins%2Fdownload-monitor%2Fdownload.php%3Fid%3D132&ei=Zd3LU-nZPIbksAS1n4HIAw&usg=AFQjCNEd76NUWO5wtifnvMlaxOXuyGuKBA&sig2=ptmh4_JLQ-lkkReULTdFug visitada en Noviembre 2011.

[GTPML05] Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. *Guía Técnica General de Producción Más Limpia*. Bolivia: PGD Impresiones, 2005.

[IEC09] International Electrotechnical Commission. *IEC 60034-31: Rotating electrical machines - Part 31: Guide for the selection and application of energy-efficient motors including variable-speed applications*. 2009.

[ICCA13] International Council of Chemical Associations. *Energía y Cambio Climático*. 2013. Disponible vía Web en <http://www.icca-chem.org/en/Home/ICCA-initiatives/Energy--Climate-Change-/> visitada en Marzo del 2013.

[IE06] Intelligent Energy. *Guía Técnica de Iluminación Eficiente*. España: Gráficas Arias Montano S.A., 2006.

[Indexmundi13] Indexmundi. *Cuadros de Datos Históricos Anuales*. 2013. Disponible vía Web en <http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=ci&v=81> visitada en Marzo del 2013.

[Mora03] Mora, J. F. *Máquinas Eléctricas*. España: Mc Graw Hill, 2003.

[Obregon05] Obregon, J. E. *Medición de Eficiencia a Motores de Inducción Utilizando en Método del Deslizamiento*. Universidad Autónoma de Nuevo León, 2005. P. 103.

[PEER09₁] Programa de Eficiencia Energética Regional en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica. *Manual Técnico de Motores Eléctricos*. Costa Rica: Diseño Editorial S.A., 2009. p. 10-11.

[PEER09₂] Programa de Eficiencia Energética Regional en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica. *Manual Técnico Iluminación*. Costa Rica: Diseño Editorial S.A., 2009.

[PEER10] Programa de Eficiencia Energética Regional en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica. *Buenas Prácticas en Eficiencia Energética Motores Eléctricos*. Costa Rica: Diseño Editorial S.A., 2010.

[PEIE07] Programa de Estudios e Investigaciones en Energía. *Caracterización del Parque Actual de Motores Eléctricos en Chile*. Chile: INAP, 2007.

[PRIEN09] Programa de Investigaciones en Energía. *Estudio de Caso: Proyecto Piloto de Reemplazo de Motores Eléctricos en la Minería de Cobre*. Chile, 2009.

[PRIEN12] Programa de Investigaciones en Energía. *Reportes de Emisión para el SIC*. Santiago, 2012. Disponible vía Web en [http://huelladecarbono.minenergia.cl/descargas FE SIC.html](http://huelladecarbono.minenergia.cl/descargas_FE_SIC.html) visitada en Marzo del 2012.

[Roustaiyan07] Roustaiyan, C. M. *Manual de Procedimientos para la Ingeniería de Iluminación de Interiores y Áreas Deportivas*. Sartenejas, 2007.

[SEC03] Superintendencia de Electricidad y Combustibles. *NCH Elec. 4/2003: Electricidad Instalaciones de Consumo en Baja Tensión*. Chile, 2003

[SENDECO12] Sistema electrónico de negociación de derechos de emisión de dióxido de Carbono. *Precios CO₂*. Barcelona, 2012. Disponible vía Web en http://www.sendeco2.com/es/precio_co2.asp?ssidi=1 visitada en Marzo del 2012.

[SIE13] Sistema de Información estadístico. *Precios*. Santiago, 2013. Disponible vía Web en <http://sie.minenergia.cl/sieJSFServer/pages/reporte.xhtml?i=27> visitada en Enero del 2013.

[SII03] Servicio de Impuestos Internos. *Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado*. Santiago, 2003. Disponible vía Web en http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm visitada en Marzo del 2013.

[Sullivan04] Sullivan, William et al. *Ingeniería Económica de DeGarmo*. México: Pearson Educación, 2004.

[UNIT10] Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. *Eficiencia Energética – Motores Eléctricos de Inducción Trifásicos – Especificaciones y Etiquetado*. 2010.

[WEC04] World Energy Council. *Eficiencia Energética: Estudio Mundial*. Inglaterra: World Energy Council. , 2004.

10. Anexos

Anexo 1. Determinación disminuciones de emisiones de dióxido de carbono.

Actualmente, las empresas están en una búsqueda continua que les permita darle un valor agregado a sus procesos productivos. Fundamental para lograr este propósito es llegar a aminorar su impacto en el medio ambiente y en particular conseguir una disminución de su huella de carbono [CEPAL13].

Una forma de medir el impacto que generan las actividades del hombre al medio ambiente y, en particular, en el fenómeno del cambio climático es por medio de la utilización de la huella de carbono, que se refiere a “la cantidad de GEI emitidos en las actividades cotidianas y los procesos productivos, a través de la quema de combustibles fósiles, el uso de la electricidad, calefacción y transporte, entre otras, las que quedan como un vestigio en el planeta, puesto que las consecuencias negativas de estos procesos se mantienen de forma permanente en el medio ambiente” [CEPAL09₂].

Los GEI existen de forma natural en la atmósfera donde cumplen la función de elevar la temperatura del planeta hasta niveles óptimos para la vida. El CO₂ y el vapor de agua son los principales gases de este tipo. Los niveles naturales de estos gases se ven incrementados por las emisiones resultantes de la actividad humana, es decir, que no se producen de forma natural. Del incremento de su concentración en la atmósfera, resulta una mayor captación de radiación infrarroja cuya consecuencia directa es el aumento de las temperaturas sobre la superficie, dando lugar al calentamiento global.

El CO₂, también conocido como bióxido de carbono, óxido de carbono y anhídrido carbónico, es uno de los gases más abundantes en la atmósfera y se encarga de jugar un papel importante en los procesos vitales de las plantas, animales y para el ser humano, participando de la fotosíntesis, la respiración o en diversas actividades internas del cuerpo humano. El CO₂, en cantidades adecuadas, es uno de los GEI que contribuye a que la tierra tenga una temperatura habitable, ya que es el encargado de impedir la salida de calor de la atmósfera, puesto sin el CO₂ la tierra sería un bloque de hielo.

Para remediar esta situación, a nivel mundial algunos países han firmado el Protocolo de Kyoto (aprobado en 1997), en donde se comprometieron a reducir sus emisiones a un 5% por debajo de lo que emitían en 1990.

Una de las alternativas de mitigación que plantea este protocolo es la compra de bonos de carbono (emisiones de GEI) que pueden ser vendidos o adquiridos en el mercado de carbono ya sea por gobiernos, empresas o individuos. El método que más se utiliza para llevar a cabo tal transacción son los certificados de reducción de emisiones (en lo adelante CER), que corresponden a toneladas métricas de CO₂ y esto permite mitigar la generación de GEI, beneficiando a las empresas que no los emiten y

aquellas que han disminuido su emisión, mientras que pagan las que emiten más de lo permitido [CEPAL10].

La institución encargada de emitir estos bonos es la Organización de las Naciones Unidas (en lo adelante ONU), para lo cual las empresas deben demostrar una creciente inversión en tecnologías menos contaminantes.

Producto del menor costo del carbón en el mercado internacional, la matriz eléctrica de Chile se ha carbonizado, lo que ha significado un aumento sostenido en las emisiones de CO₂ y otros gases que podrían contribuir a la ocurrencia del efecto invernadero (en lo adelante GEI), provocando un incremento de la huella de carbono del país. Las emisiones de GEI en Chile al año 2008 fueron de aproximadamente 95 millones de toneladas de CO₂ equivalente, dentro de las cuales el CO₂ tiene la mayor participación, con aproximadamente un 65% de las emisiones.

Como el cambio climático es un tema complejo a nivel mundial actual, las empresas químicas están mejorando la EE y reduciendo la intensidad de los GEI mediante la aplicación de dos acciones complementarias; en primer lugar, la reducción de las emisiones en sus propias instalaciones de fabricación, y, segundo, innovando nuevos productos que reduzcan las emisiones cuando se utiliza en otras industrias y consumidores [ICCA13].

En Chile desde el año 2010 se cuenta con un factor para determinar las reducciones de CO₂, el cual fue calculado por el Ministerio de Energía a través del Programa País de EE con la asistencia del Banco Interamericano de Desarrollo (en lo adelante BID) y validado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). El valor de este factor representa la cantidad de Toneladas de CO₂ que emite cada MWh generado por los sistemas eléctricos chilenos, es decir nos indica las emisiones de CO₂ que se reducen cada vez que un MWh es aminorado de los sistemas interconectados.

Debido a que los proyectos de EE permiten disminuir la cantidad de GEI emitidos por las empresas, en el presente trabajo se hizo indispensable realizar este cálculo para la propuesta recomendada, que consistía en un recambio de motores eléctricos en la PPL.

Para poder determinar las disminuciones de CO₂ que se obtendrían en Tricolor S.A. al adoptar la mejora propuesta, primero fue necesario establecer el valor base de emisiones de la empresa al momento del estudio. Considerando que el presente trabajo, se enfocó en el área eléctrica de la planta productiva se tomó como dato inicial sus emisiones asociadas al consumo este recurso.

Como dato base para este cálculo se utilizó el factor de emisiones para el SIC, este valor fue definido como un promedio de 0,379 TonCO_{2eq}/MWh para el año 2011

[PRIEN12], con un promedio de venta de alrededor de € 12,886 por tonelada para el mismo año [SENDECO12].

Las emisiones se determinaron mediante la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones} = \text{Consumo Anual de Electricidad} \times \text{Factor de Emisión}$$

Ya que el consumo anual de electricidad de la planta productiva de Tricolor S.A. era de aproximadamente 1.970 MWh, se obtuvo que por concepto de consumo de electricidad se emitían alrededor de 746,63 TonCO_{2eq} anualmente.

La disminución de emisiones de CO₂ que lograría la empresa al poner en práctica el recambio de los motores eléctricos seleccionados en la PPL (ver tabla 10.1), van desde los 40,50 TonCO_{2eq} anuales por el cambio de 27 uds. bajo el supuesto que los motores de uso actual de los equipos analizados no hubiesen tenidos rebobinados, 54,47 TonCO_{2eq} anuales por el cambio de 31 uds. bajo el supuesto que los motores presentasen un rebobinado y 73,32 TonCO_{2eq} anuales por 39 uds. bajo el supuesto que presentasen dos rebobinados. Es decir, que porcentualmente Tricolor S.A. puede llegar a disminuir sus emisiones entre un 5,42% a un 9,82% tomando como base las emisiones calculadas con los datos facilitados por la empresa al momento del estudio. Si bien la empresa puede comercializar estas reducciones, también es importante destacar que tal situación la beneficiaría al utilizar estas disminuciones para plantear una estrategia de marketing.

Tabla 10.1. Tabla disminución de emisiones de CO₂ al aplicar la propuesta de reemplazo de los motores eléctricos en la PPL.

	Caso		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2
N° Motores	27 (uds.)	31 (uds.)	39 (uds.)
Disminución de Consumo Anual de Energía	106,85 (MWh)	143,72 (MWh)	193,45 (MWh)
Total disminuciones de emisiones CO₂	40,50 (TonCO _{2eq})	54,47 (TonCO _{2eq})	73,32 (TonCO _{2eq})

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Tablas para cálculo de reflectancias efectivas de las cavidades.

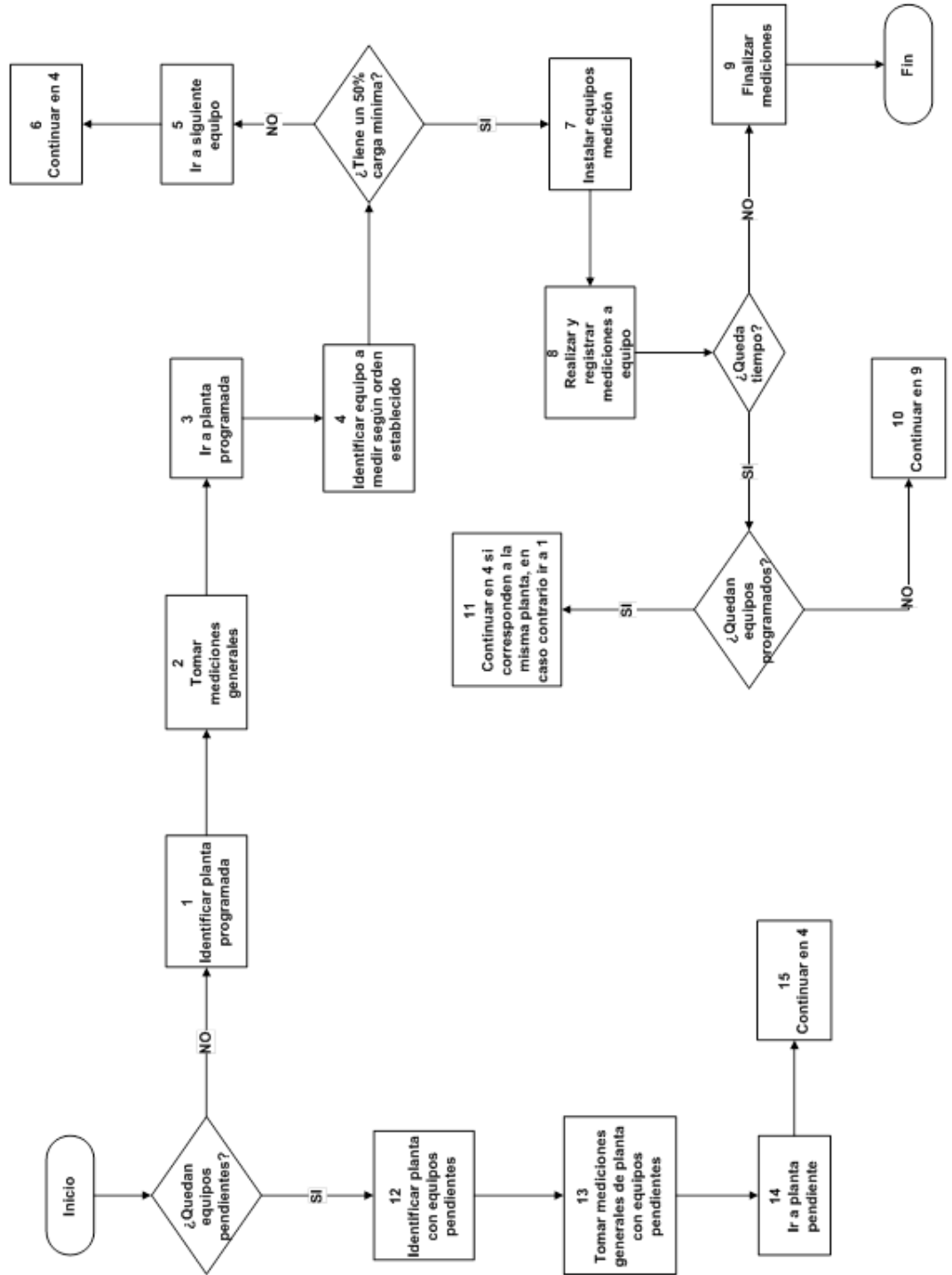
Reflectancia base en %		90							80						
Reflectancia de las paredes en %		90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0
RELACION DE CAVIDAD	0,2	89	88	88	86	85	84	82	79	78	78	77	76	74	72
	0,4	88	87	86	84	81	79	76	79	77	76	74	72	70	68
	0,6	87	86	84	80	77	74	73	78	76	75	71	68	65	57
	0,8	87	85	82	77	73	69	67	78	75	73	69	65	61	57
	1	86	83	80	75	69	64	62	77	74	72	67	62	57	55
	1,5	85	80	76	68	61	55	51	75	72	69	61	54	49	46
	2	83	77	72	62	53	47	43	74	69	64	56	48	41	38
	2,5	82	75	68	57	47	40	36	73	67	61	51	42	35	32
	3	80	72	64	52	42	34	30	72	65	58	47	37	30	27
	3,5	79	70	61	48	37	31	26	71	63	55	43	33	26	24
	4	77	69	58	44	33	22	22	70	61	53	40	30	22	20
5	75	69	53	38	28	16	16	68	58	48	35	25	18	14	
6	73	61	49	34	24	11	11	68	55	44	31	22	15	10	
8	68	55	42	27	18	12	6	62	50	38	25	17	11	5	
10	65	51	36	22	15	9	4	59	46	33	21	14	8	3	
Reflectancia base en %		70							60						
Reflectancia de las paredes en %		90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0
RELACION DE CAVIDAD	0,2	70	69	68	67	66	65	64	60	59	59	58	56	55	53
	0,4	69	68	67	65	63	61	58	60	59	59	57	54	52	50
	0,6	69	67	65	63	59	57	54	60	58	57	55	51	50	46
	0,8	68	66	64	60	56	53	50	59	57	56	54	48	46	43
	1	68	65	62	58	53	50	47	59	57	55	51	45	43	41
	1,5	67	62	59	54	46	42	40	59	55	52	46	40	37	34
	2	66	60	56	49	40	36	33	58	54	50	43	38	31	29
	2,5	65	60	54	49	36	31	29	58	53	47	39	30	25	23
	3	64	58	52	42	32	27	24	57	52	46	37	28	23	20
	3,5	63	57	50	38	29	23	21	57	50	44	36	25	20	17
	4	63	55	48	26	26	20	17	57	49	42	32	23	19	14
5	61	52	44	31	22	16	12	56	48	40	28	20	14	11	
6	60	51	41	28	19	13	9	55	45	37	25	17	11	7	
8	57	46	35	23	15	10	5	53	42	33	22	14	8	4	
10	55	43	31	19	12	8	3	51	39	29	18	11	7	2	

Reflectancia base en %		50							40						
Reflectancia de las paredes en %		90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0
RELACION DE CAVIDAD	0,2	50	50	49	48	47	46	44	40	40	39	39	38	36	36
	0,4	50	49	48	47	45	44	42	41	40	39	38	36	34	34
	0,6	50	48	47	45	43	41	38	41	40	39	37	34	32	31
	0,8	50	48	47	44	40	38	36	41	40	38	36	33	31	29
	1	50	48	46	43	38	36	34	42	30	38	34	32	29	27
	1,5	50	47	45	40	34	31	26	42	39	37	32	28	24	22
	2	50	46	43	37	30	26	24	42	39	36	31	25	21	19
	2,5	50	46	41	35	27	22	21	43	39	35	29	23	18	12
	3	50	45	40	32	24	9	17	43	39	35	27	21	16	13
	3,5	50	44	39	30	22	17	15	44	39	34	26	20	14	12
	4	50	44	38	28	20	15	12	44	38	33	25	18	12	10
5	50	42	35	25	17	12	9	45	38	31	22	15	10	7	
6	50	42	34	23	15	10	6	44	37	30	20	13	8	5	
8	49	40	30	19	12	7	3	44	35	28	28	11	6	3	
10	47	37	27	17	10	6	2	43	34	25	15	8	5	2	
Reflectancia base en %		30							20						
Reflectancia de las paredes en %		90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0
RELACION DE CAVIDAD	0,2	31	31	30	29	29	28	27	21	20	20	20	19	19	17
	0,4	31	31	30	29	28	26	25	22	21	20	20	19	18	16
	0,6	32	31	30	28	26	25	23	23	21	21	19	18	17	15
	0,8	32	31	30	28	25	23	22	24	22	21	19	18	16	14
	1	33	32	30	27	24	22	20	25	23	22	19	17	15	13
	1,5	34	33	30	25	22	18	17	26	24	22	18	16	13	11
	2	35	33	29	24	20	16	14	28	25	23	18	15	11	9
	2,5	36	32	29	24	18	14	12	29	26	23	18	14	10	8
	3	37	33	29	22	17	12	10	30	27	23	17	13	9	7
	3,5	38	33	29	21	15	10	9	32	27	23	17	12	8	5
	4	38	33	28	21	14	9	7	33	28	23	17	11	7	7
5	39	33	28	19	13	8	5	35	29	24	16	10	6	4	
6	39	33	27	18	11	6	4	36	30	23	16	10	5	2	
8	40	33	26	16	9	4	2	37	30	23	15	9	3	1	
10	40	32	24	14	8	3	1	37	29	22	13	7	3	1	

Reflectancia base en %		10							0						
Reflectancia de las paredes en %		90	80	70	50	30	10	0	90	80	70	50	30	10	0
RELACION DE CAVIDAD	0,2	11	11	11	10	10	9	9	2	2	2	1	1	0	0
	0,4	12	11	11	11	11	9	8	4	3	3	2	1	0	0
	0,6	13	13	12	11	11	8	8	5	5	4	3	2	1	0
	0,8	15	14	13	11	11	8	7	7	6	5	4	2	1	0
	1	16	14	13	12	12	8	7	8	7	6	4	2	1	0
	1,5	18	16	15	12	12	7	6	11	10	8	6	3	1	0
	2	20	18	16	13	13	6	5	14	12	10	7	4	1	0
	2,5	22	20	17	13	13	5	4	16	14	12	8	5	2	0
	3	24	21	18	13	13	5	3	18	16	13	9	5	2	0
	3,5	26	22	19	13	13	5	3	20	17	15	10	5	2	0
	4	27	23	20	14	14	4	2	22	18	15	10	5	2	0
	5	30	25	20	14	14	4	2	25	21	17	11	6	2	0
	6	31	26	21	14	14	3	1	27	23	18	12	6	2	0
8	33	27	21	13	13	3	1	30	25	20	12	6	2	0	
10	34	28	21	12	12	2	1	31	25	20	12	6	2	0	

Anexo 3. Protocolo medición sector motor.

Lugar	:Planta Pinturas Líquidas Tricolor S.A.
Encargados	:Gabriel Cisternas Loreto Durán
Período	:Desde Lunes 23 de Mayo a Viernes 17 de Junio Nota: 10 días de medición de 8:30 a 10:30, con un total de 20 hrs.
Objetivo	:Realizar mediciones de campo para determinar eficiencia en el uso de la energía en el sector fuerza de planta pinturas líquidas de Tricolor S.A.
Antecedentes necesarios	:Identificación equipos (considérese nomenclatura e ubicación en planta) Año adquisición equipos Manual del equipo y maquinaria asociada Historial de mantención de quipos Datos nominales de placa Horas anuales de funcionamiento (estimado)
Equipos a medir	:88 motores
Instrumentos medición	:Hoja recolección mediciones Multímetro Termómetro Regla medición estanques
Datos a medir	:Datos generales (Temperatura y humedad ambiente, Voltaje alimentación de red) Datos por equipo (Voltaje, Intensidad Corriente)



Anexo 4. Tablas datos nominales de operación motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Potencia (kW)	Velocidad (rpm)	Corriente (A)	Eficiencia	FP
M-PH3	90	1485	173	0,93	0,85
M-PH4	90	1485	180	0,93	0,85
M-E3001	15	1450	29	0,90	0,86
M-E3002	15	1450	29	0,90	0,86
M-E3003	15	1450	29	0,90	0,86
M-E3004	15	1455	30	0,90	0,86
M-E3005	15	1455	30	0,90	0,86
M-E3006	15	1455	30	0,90	0,86
M-E3007	15	1460	30	0,90	0,86
M-E3008	15	1460	30	0,90	0,86
M-PH5	90	1490	173	0,93	0,85
M-E7201	15	1465	30	0,90	0,82
M-E7202	15	1465	30	0,90	0,82
M-E7203	15	1465	30	0,90	0,82
M-E7204	5,5	1430	13	0,85	0,82
M-E7301	15	1465	30	0,90	0,82
M-E7302	15	1465	30	0,90	0,82
M-E7303	15	1465	30	0,90	0,82
M-E7304	15	1465	30	0,90	0,82
M-E7305	15	1465	30	0,90	0,82
M-E7805	6,6	970	15	0,87	0,76
M-E7806	6,6	970	15	0,87	0,76
M-E7807	6,6	970	15	0,87	0,76
M-E7808	6,6	970	15	0,87	0,76
M-E7809	4,8	950	11	0,83	0,77
M-E7501	4,5	950	12	0,83	0,77
M-PE-1	3,6	1440	8	0,82	0,83
M-PE-2	3,6	1440	8	0,82	0,83
M-PE-3	3,6	1440	8	0,82	0,83
M-PE-4	3,6	1440	8	0,82	0,83
M-E2001	5,5	1430	13	0,85	0,82
M-E2002	5,5	1430	13	0,85	0,82
M-E502	2,6	955	7	0,81	0,72
M-E503	6,6	970	15	0,87	0,76
M-E504	4	S/I	8	0,83	0,82
M-E505	2,6	955	7	0,81	0,72
M-E506	2,6	955	7	0,81	0,72
M-E507	2,2	1000	5	0,78	0,73
M-E508	2,2	1000	5	0,78	0,73
M-E801	4,8	950	12	0,83	0,77
M-E802	4,8	950	12	0,83	0,77
M-E803	4,8	950	12	0,83	0,77
M-MH1	15	S/I	21	0,88	0,9

Equipo	Potencia (kW)	Velocidad (rpm)	Corriente (A)	Eficiencia	FP
M-PE-6	11	1455	23	0,90	0,85
M-PE-7	17	1455	34	0,90	0,86
M-PE-9	17,5	1470	34	0,90	0,86
M-PE-10	17,5	1470	34	0,90	0,86
M-V1	15	1500	S/I	0,90	0,86
M-SM2	15	1440	31	0,90	0,83
M-SM3	22	1440	31	0,90	0,83
M-SM4	22	1475	43	0,90	0,83
M-PF-1	19	730	43	0,87	0,74
M-VPF-1	2,2	S/I	6	0,78	0,73
M-PF-2	11	1440	22	0,90	0,87
M-VPF-2	5,5	950	12	0,84	0,88
M-PF-3	11	1440	23	0,90	0,85
M-VPF-3	5,5	950	15	0,84	0,88
M-PF-4	30	1450	60	0,91	0,84
M-VPF-4	7,5	1500	16	0,87	0,86
M-PF-5	22,5	S/I	45	0,90	0,83
M-VPF-5	18,5	1000	37	0,89	0,83
M-PF-6	22	1470	43	0,90	0,83
M-VPF-6	19	1000	37	0,89	0,83
M-DA	30	1475	57	0,89	0,87
M-V2	18,5	1470	36	0,90	0,89
M-V3	15	1440	31	0,90	0,86
M-T1	68	1500	80	0,93	0,86
M-T4	5,5	1450	12	0,85	0,84
M-PE-12	18,5	1470	36	0,90	0,86
M-PE-13	18,5	1470	36	0,90	0,86
M-PE-14	18,5	1465	36	0,90	0,85
M-E1001	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1002	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1003	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1004	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1005	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1006	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1007	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1008	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1009	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1010	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1011	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-E1012	5,5	1450	12	0,85	0,82
M-GA50	50	S/I	118	0,93	0,87
M-GA45	45	2955	82	0,92	0,87
M-EG-P3	7,5	1760	S/I	0,87	0,86
M-EP-P6	11,2	2940	22	0,88	0,9
M-EP-P7	22	1470	43	0,90	0,83

Anexo 5. Tablas datos tiempos operacionales motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Horas Operación		
	Diarias	Mensuales	Anuales
M-PH3	3	60	720
M-PH4	3	60	720
M-E3001	2	40	480
M-E3002	2	40	480
M-E3003	2	40	480
M-E3004	2	40	480
M-E3005	2	40	480
M-E3006	2	40	480
M-E3007	2	40	480
M-E3008	2	40	480
M-PH5	3	60	720
M-E7201	2	40	480
M-E7202	2	40	480
M-E7203	2	40	480
M-E7204	2	40	480
M-E7301	2	40	480
M-E7302	2	40	480
M-E7303	2	40	480
M-E7304	2	40	480
M-E7305	2	40	480
M-E7805	2	40	480
M-E7806	2	40	480
M-E7807	2	40	480
M-E7808	2	40	480
M-E7809	2	40	480
M-E7501	2	40	480
M-PE-1	8	160	1920
M-PE-2	8	160	1920
M-PE-3	8	160	1920
M-PE-4	8	160	1920
M-E2001	2	40	480
M-E2002	2	40	480
M-E502	2	40	480
M-E503	2	40	480
M-E504	2	40	480
M-E505	2	40	480
M-E506	2	40	480
M-E507	2	40	480
M-E508	2	40	480
M-E801	2	40	480
M-E802	2	40	480
M-E803	2	40	480
M-MH1	3	60	720

Equipo	Horas Operación		
	Diarias	Mensuales	Anuales
M-PE-6	8	160	1920
M-PE-7	8	160	1920
M-PE-9	8	160	1920
M-PE-10	8	160	1920
M-V1	3	60	720
M-SM2	3,5	70	840
M-SM3	3,5	70	840
M-SM4	3,5	70	840
M-SM1	3,5	70	840
M-PF-1	6	120	1440
M-PF-2	6	120	1440
M-VPF-2	0,5	10	120
M-PF-3	6	120	1440
M-VPF-3	0,5	10	120
M-PF-4	6	120	1440
M-VPF-4	0,5	10	120
M-PF-5	6	120	1440
M-VPF-5	0,5	10	120
M-PF-6	6	120	1440
M-VPF-6	0,5	10	120
M-DA	3,5	70	840
M-V2	4	80	960
M-V3	4	80	960
M-T1	4	80	960
M-T4	4	80	960
M-PE-12	8	160	1920
M-PE-13	8	160	1920
M-PE-14	8	160	1920
M-E1001	2	40	480
M-E1002	2	40	480
M-E1003	2	40	480
M-E1004	2	40	480
M-E1005	2	40	480
M-E1006	2	40	480
M-E1007	2	40	480
M-E1008	2	40	480
M-E1009	2	40	480
M-E1010	2	40	480
M-E1011	2	40	480
M-E1012	2	40	480
M-GA50	6	120	1440
M-GA45	6	120	1440
M-EG-P3	6	120	1440
M-EP-P6	6	120	1440
M-EP-P7	6	120	1440

Anexo 7. Tabla resultados mediciones eléctricas motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Promedio Fases	
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
M-PH3	374	120	377	120	379	130	377	123
M-PH4	375	75	370	75	377	75	374	75
M-E3001	374	21	378	21	376	22	376	21
M-E3002	374	20	377	21	376	22	376	21
M-E3003	374	18	378	19	376	20	376	19
M-E3004	374	17	375	18	377	18	375	18
M-E3005	379	24	380	24	382	25	380	24
M-E3006	374	27	378	27	376	27	376	27
M-E3007	375	18	378	19	377	19	377	19
M-E3008	382	25	383	22	381	23	382	23
M-PH5	371	67	373	73	371	71	372	70
M-E7201	375	24	379	23	378	21	377	23
M-E7202	378	13	380	13	379	13	379	13
M-E7203	376	22	375	22	373	23	375	22
M-E7204	376	8	377	8	376	8	376	8
M-E7301	380	18	383	19	382	19	382	19
M-E7302	379	27	381	28	379	28	380	28
M-E7303	376	18	377	18	376	17	376	17
M-E7304	372	18	374	19	373	19	373	19
M-E7305	380	16	382	16	381	17	381	17
M-E7805	379	12	381	12	380	13	380	12
M-E7806	374	12	377	12	375	12	375	12
M-E7807	374	10	377	10	375	10	375	10
M-E7808	380	9	381	10	379	10	380	9
M-E7809	380	7	382	7	381	7	381	7
M-E7501	379	6	382	6	381	6	381	6
M-PE-1	380	4	380	4	378	4	379	4
M-PE-2	386	4	384	4	384	4	385	4
M-PE-3	380	6	380	6	378	6	379	6
M-PE-4	380	4	380	4	378	4	379	4
M-E2001	380	10	380	10	379	10	380	10
M-E2002	381	8	381	9	379	8	380	8
M-E502	380	5	378	4	380	4	379	4
M-E503	383	13	384	12	386	12	384	12
M-E504	380	5	379	5	381	5	380	5
M-E505	380	5	379	4	381	4	380	4
M-E506	380	4	378	4	380	4	379	4
M-E507	380	3	378	3	380	5	379	4
M-E508	380	3	378	3	380	3	379	3
M-E801	380	7	378	7	381	7	380	7
M-E802	380	7	379	7	380	7	380	7
M-E803	380	8	378	7	380	7	379	7
M-MH1	380	11	380	11	378	10	379	10

Equipo	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Promedio Fases	
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
M-PE-6	376	14	379	14	379	14	378	14
M-PE-7	375	14	378	14	378	13	377	14
M-PE-9	375	16	378	16	378	16	377	16
M-PE-10	375	15	379	14	379	15	378	15
M-V1	386	12	381	11	383	12	383	12
M-SM2	378	12	380	12	380	11	379	12
M-SM3	381	17	382	18	381	16	381	17
M-SM4	381	18	382	18	383	16	382	17
M-SM1	383	17	382	17	381	16	382	17
M-PF-1	382	16	382	15	384	16	383	15
M-PF-2	374	8	377	8	376	8	376	8
M-VPF-2	374	7	377	8	376	6	376	7
M-PF-3	373	9	376	9	374	10	374	9
M-VPF-3	380	11	383	11	381	11	381	11
M-PF-4	374	16	376	16	376	16	375	16
M-VPF-4	374	4	378	4	376	5	376	4
M-PF-5	373	19	374	19	371	20	373	19
M-VPF-5	371	6	374	5	373	6	373	6
M-PF-6	374	19	376	20	375	21	375	20
M-VPF-6	374	8	377	8	375	8	375	8
M-DA	376	35	380	37	379	37	378	36
M-V2	378	18	380	17	380	18	379	17
M-V3	379	14	380	14	377	15	379	14
M-T1	379	20	380	22	377	21	379	21
M-T4	378	6	379	6	380	6	379	6
M-PE-12	378	16	380	16	380	14	379	15
M-PE-13	378	15	380	15	380	16	379	15
M-PE-14	378	19	380	19	380	20	379	19
M-E1001	380	6	382	6	380	6	381	6
M-E1002	378	6	380	6	380	7	379	6
M-E1003	377	6	379	6	379	6	378	6
M-E1004	379	7	382	6	381	7	381	6
M-E1005	376	5	378	5	379	6	378	5
M-E1006	385	7	386	7	386	7	386	7
M-E1007	378	6	380	6	380	6	379	6
M-E1008	377	5	380	5	380	6	379	6
M-E1009	378	6	380	6	380	6	379	6
M-E1010	378	5	380	5	380	5	379	5
M-E1011	378	6	380	6	380	6	379	6
M-E1012	377	6	380	6	380	6	379	6
M-GA50	370	91	373	92	371	99	371	94
M-GA45	372	80	373	80	372	81	372	80
M-EG-P3	380	10	378	9	381	9	380	9
M-EP-P6	374	14	376	14	375	16	375	15
M-EP-P7	380	25	382	26	381	26	381	26

Anexo 8. Tabla ecuaciones curva FC v/s FP motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Ecuación Curva FC v/s FP	Equipo	Ecuación Curva FC v/s FP
M-PH3	$-0,24*FC*FC+0,46*FC+0,63$	M-PE-7	$-0,32*FC*FC+0,68*FC+0,53$
M-PH4	$-0,24*FC*FC+0,46*FC+0,63$	M-PE-9	$-0,32*FC*FC+0,68*FC+0,53$
M-E3001	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-PE-10	$-0,32*FC*FC+0,68*FC+0,53$
M-E3002	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-V1	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$
M-E3003	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-SM2	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$
M-E3004	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-SM3	$-0,4*FC*FC+0,94*FC+0,29$
M-E3005	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-SM4	$-0,4*FC*FC+0,94*FC+0,29$
M-E3006	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-PF-1	$-0,56*FC*FC+1,06*FC+0,32$
M-E3007	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-VPF-1	$-0,08*FC*FC+0,42*FC+0,39$
M-E3008	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-PF-2	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,41$
M-PH5	$-0,24*FC*FC+0,46*FC+0,63$	M-VPF-2	$-0,16*FC*FC+0,8*FC+0,24$
M-E7201	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-PF-3	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,41$
M-E7202	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-VPF-3	$-0,16*FC*FC+0,8*FC+0,24$
M-E7203	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-PF-4	$-0,48*FC*FC+0,88*FC+0,44$
M-E7204	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$	M-VPF-4	$-0,32*FC*FC+0,84*FC+0,34$
M-E7301	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-PF-5	$-0,4*FC*FC+0,94*FC+0,29$
M-E7302	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-VPF-5	$-0,24*FC*FC+0,62*FC+0,45$
M-E7303	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-PF-6	$-0,4*FC*FC+0,94*FC+0,29$
M-E7304	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-VPF-6	$-0,56*FC*FC+1,06*FC+0,32$
M-E7305	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-DA	$-0,48*FC*FC+0,88*FC+0,44$
M-E7805	$-0,64*FC*FC+1,28*FC+0,16$	M-V2	$-0,32*FC*FC+0,68*FC+0,53$
M-E7806	$-0,64*FC*FC+1,28*FC+0,16$	M-V3	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$
M-E7807	$-0,64*FC*FC+1,28*FC+0,16$	M-T1	$-0,16*FC*FC+0,4*FC+0,62$
M-E7808	$-0,64*FC*FC+1,28*FC+0,16$	M-T4	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E7809	$-0,16*FC*FC+0,8*FC+0,24$	M-PE-12	$-0,32*FC*FC+0,68*FC+0,53$
M-E7501	$-0,16*FC*FC+0,8*FC+0,24$	M-PE-13	$-0,32*FC*FC+0,68*FC+0,53$
M-PE-1	$-0,48*FC*FC+1,08*FC+0,22$	M-PE-14	$-0,32*FC*FC+0,68*FC+0,53$
M-PE-2	$-0,48*FC*FC+1,08*FC+0,22$	M-E1001	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-PE-3	$-0,48*FC*FC+1,08*FC+0,22$	M-E1002	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-PE-4	$-0,48*FC*FC+1,08*FC+0,22$	M-E1003	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E2001	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$	M-E1004	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E2002	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$	M-E1005	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E502	$-0,4*FC*FC+1,02*FC+0,17$	M-E1006	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E503	$-0,64*FC*FC+1,28*FC+0,16$	M-E1007	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E504	$-0,56*FC*FC+1,18*FC+0,12$	M-E1008	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E505	$-0,4*FC*FC+1,02*FC+0,17$	M-E1009	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E506	$-0,4*FC*FC+1,02*FC+0,17$	M-E1010	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E507	$-0,08*FC*FC+0,42*FC+0,39$	M-E1011	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E508	$-0,08*FC*FC+0,42*FC+0,39$	M-E1012	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,38$
M-E801	$-0,16*FC*FC+0,8*FC+0,24$	M-GA50	$-0,16*FC*FC+0,32*FC+0,71$
M-E802	$-0,16*FC*FC+0,8*FC+0,24$	M-GA45	$-0,16*FC*FC+0,4*FC+0,62$
M-E803	$-0,16*FC*FC+0,8*FC+0,24$	M-EG-P3	$-0,32*FC*FC+0,84*FC+0,34$
M-MH1	$-0,24*FC*FC+0,66*FC+0,44$	M-EP-P6	$-0,48*FC*FC+0,88*FC+0,5$
M-PE-6	$-0,32*FC*FC+0,76*FC+0,41$	M-EP-P7	$-0,4*FC*FC+0,94*FC+0,29$

Anexo 9. Tabla FP operacionales estimados motores seleccionados de la PPL.

Equipo	FP	Equipo	FP
M-PH3	0,84	M-PE-7	0,75
M-PH4	0,78	M-PE-9	0,77
M-E3001	0,79	M-PE-10	0,76
M-E3002	0,78	M-V1	0,67
M-E3003	0,76	M-SM2	0,66
M-E3004	0,74	M-SM3	0,59
M-E3005	0,82	M-SM4	0,59
M-E3006	0,84	M-SM1	0,59
M-E3007	0,75	M-PF-1	0,61
M-E3008	0,81	M-PF-2	0,63
M-PH5	0,77	M-VPF-2	0,63
M-E7201	0,80	M-PF-3	0,67
M-E7202	0,68	M-VPF-3	0,85
M-E7203	0,79	M-PF-4	0,64
M-E7204	0,73	M-VPF-4	0,46
M-E7301	0,76	M-PF-5	0,61
M-E7302	0,84	M-VPF-5	0,53
M-E7303	0,74	M-PF-6	0,63
M-E7304	0,75	M-VPF-6	0,57
M-E7305	0,73	M-DA	0,80
M-E7805	0,74	M-V2	0,79
M-E7806	0,73	M-V3	0,70
M-E7807	0,68	M-T1	0,68
M-E7808	0,67	M-T4	0,67
M-E7809	0,64	M-PE-12	0,77
M-E7501	0,61	M-PE-13	0,77
M-PE-1	0,59	M-PE-14	0,80
M-PE-2	0,60	M-E1001	0,67
M-PE-3	0,71	M-E1002	0,69
M-PE-4	0,60	M-E1003	0,67
M-E2001	0,79	M-E1004	0,70
M-E2002	0,75	M-E1005	0,66
M-E502	0,63	M-E1006	0,72
M-E503	0,75	M-E1007	0,68
M-E504	0,55	M-E1008	0,66
M-E505	0,63	M-E1009	0,68
M-E506	0,62	M-E1010	0,65
M-E507	0,63	M-E1011	0,68
M-E508	0,59	M-E1012	0,69
M-E801	0,64	M-GA50	0,87
M-E802	0,66	M-GA45	0,87
M-E803	0,67	M-EG-P3	0,74
M-MH1	0,64	M-EP-P6	0,87
M-PE-6	0,76	M-EP-P7	0,70

Anexo 10. Tablas potencias medidas motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Voltaje Medido (V)	Intensidad Corriente Medida (A)	FP	Potencia Medida (kW)
M-PH3	377	123	0,84	67
M-PH4	374	75	0,78	38
M-E3001	376	21	0,79	11
M-E3002	376	21	0,78	11
M-E3003	376	19	0,76	9
M-E3004	375	18	0,74	8
M-E3005	380	24	0,82	13
M-E3006	376	27	0,84	15
M-E3007	377	19	0,75	9
M-E3008	382	23	0,81	12
M-PH5	372	70	0,77	35
M-E7201	377	23	0,8	12
M-E7202	379	13	0,68	6
M-E7203	375	22	0,79	11
M-E7204	376	8	0,73	4
M-E7301	382	19	0,76	9
M-E7302	380	28	0,84	15
M-E7303	376	17	0,74	8
M-E7304	373	19	0,75	9
M-E7305	381	17	0,73	8
M-E7805	380	12	0,74	6
M-E7806	375	12	0,73	6
M-E7807	375	10	0,68	4
M-E7808	380	9	0,67	4
M-E7809	381	7	0,64	3
M-E7501	381	6	0,61	2
M-PE-1	379	4	0,59	2
M-PE-2	385	4	0,6	2
M-PE-3	379	6	0,71	3
M-PE-4	379	4	0,6	2
M-E2001	380	10	0,79	5
M-E2002	380	8	0,75	4
M-E502	379	4	0,63	2
M-E503	384	12	0,75	6
M-E504	380	5	0,55	2
M-E505	380	4	0,63	2
M-E506	379	4	0,62	2
M-E507	379	4	0,63	2
M-E508	379	3	0,59	1
M-E801	380	7	0,64	3
M-E802	380	7	0,66	3
M-E803	379	7	0,67	3
M-MH1	379	10	0,64	4

Equipo	Voltaje Medido (V)	Intensidad Corriente Medida (A)	FP	Potencia Medida (kW)
M-PE-6	378	14	0,76	7
M-PE-7	377	14	0,75	7
M-PE-9	377	16	0,77	8
M-PE-10	378	15	0,76	7
M-V1	383	12	0,67	5
M-SM2	379	12	0,66	5
M-SM3	381	17	0,59	7
M-SM4	382	17	0,59	7
M-SM1	382	17	0,59	7
M-PF-1	383	15	0,61	6
M-PF-2	376	8	0,63	3
M-VPF-2	376	7	0,63	3
M-PF-3	374	9	0,67	4
M-VPF-3	381	11	0,85	6
M-PF-4	375	16	0,64	6
M-VPF-4	376	4	0,46	1
M-PF-5	373	19	0,61	8
M-VPF-5	373	6	0,53	2
M-PF-6	375	20	0,63	8
M-VPF-6	375	8	0,57	3
M-DA	378	36	0,8	19
M-V2	379	17	0,79	9
M-V3	379	14	0,7	7
M-T1	379	21	0,68	9
M-T4	379	6	0,67	3
M-PE-12	379	15	0,77	8
M-PE-13	379	15	0,77	8
M-PE-14	379	19	0,8	10
M-E1001	381	6	0,67	3
M-E1002	379	6	0,69	3
M-E1003	378	6	0,67	3
M-E1004	381	6	0,7	3
M-E1005	378	5	0,66	2
M-E1006	386	7	0,72	3
M-E1007	379	6	0,68	3
M-E1008	379	6	0,66	2
M-E1009	379	6	0,68	3
M-E1010	379	5	0,65	2
M-E1011	379	6	0,68	3
M-E1012	379	6	0,69	3
M-GA50	371	94	0,87	52
M-GA45	372	80	0,87	45
M-EG-P3	380	9	0,74	5
M-EP-P6	375	14,5	0,87	8,18
M-EP-P7	381	25,73	0,7	11,84

Anexo 11. Tablas carga operacional motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Potencia Medida (kW)	Potencia Nominal (kW)	Eficiencia Nominal	Potencia	
				Nominal Entrada (kW)	Carga
M-PH3	67	90	0,93	97	0,69
M-PH4	38	90	0,93	97	0,39
M-E3001	11	15	0,89	17	0,64
M-E3002	11	15	0,89	17	0,63
M-E3003	9	15	0,89	17	0,55
M-E3004	8	15	0,89	17	0,5
M-E3005	13	15	0,89	17	0,77
M-E3006	15	15	0,89	17	0,88
M-E3007	9	15	0,89	17	0,54
M-E3008	12	15	0,89	17	0,73
M-PH5	35	90	0,93	97	0,36
M-E7201	12	15	0,89	17	0,7
M-E7202	6	15	0,89	17	0,35
M-E7203	11	15	0,89	17	0,67
M-E7204	4	5,5	0,85	6	0,57
M-E7301	9	15	0,89	17	0,55
M-E7302	15	15	0,89	17	0,9
M-E7303	8	15	0,89	17	0,5
M-E7304	9	15	0,89	17	0,54
M-E7305	8	15	0,89	17	0,47
M-E7805	6	6,6	0,85	8	0,75
M-E7806	6	6,6	0,85	8	0,72
M-E7807	4	6,6	0,85	8	0,55
M-E7808	4	6,6	0,85	8	0,53
M-E7809	3	4,8	0,83	6	0,48
M-E7501	2	4,5	0,83	5	0,46
M-PE-1	2	3,6	0,83	4	0,36
M-PE-2	2	3,6	0,83	4	0,37
M-PE-3	3	3,6	0,83	4	0,63
M-PE-4	2	3,6	0,83	4	0,37
M-E2001	5	5,5	0,85	6	0,78
M-E2002	4	5,5	0,85	6	0,63
M-E502	2	2,6	0,8	3	0,55
M-E503	6	6,6	0,85	8	0,79
M-E504	2	4	0,81	5	0,34
M-E505	2	2,6	0,8	3	0,57
M-E506	2	2,6	0,8	3	0,54
M-E507	2	2,2	0,78	3	0,55
M-E508	1	2,2	0,78	3	0,41
M-E801	3	4,8	0,83	6	0,5
M-E802	3	4,8	0,83	6	0,54
M-E803	3	4,8	0,83	6	0,57
M-MH1	4	15	0,89	17	0,26

Equipo	Potencia Medida (kW)	Potencia Nominal (kW)	Eficiencia Nominal	Potencia Nominal Entrada (kW)	Carga
M-PE-6	7	11	0,88	13	0,56
M-PE-7	7	17	0,89	19	0,35
M-PE-9	8	17,5	0,89	20	0,41
M-PE-10	7	17,5	0,89	20	0,37
M-V1	5	15	0,89	17	0,31
M-SM2	5	15	0,89	17	0,3
M-SM3	7	22	0,9	24	0,27
M-SM4	7	22	0,9	24	0,27
M-SM1	7	22	0,89	25	0,27
M-PF-1	6	19	0,78	24	0,26
M-PF-2	3	11	0,88	13	0,25
M-VPF-2	3	5,5	0,83	7	0,42
M-PF-3	4	11	0,88	13	0,33
M-VPF-3	6	5,5	0,83	7	0,94
M-PF-4	6	30	0,91	33	0,2
M-VPF-4	1	7,5	0,86	9	0,14
M-PF-5	8	22,5	0,91	25	0,31
M-VPF-5	2	18,5	0,89	21	0,09
M-PF-6	8	22	0,9	24	0,33
M-VPF-6	3	19	0,89	21	0,14
M-DA	19	30	0,91	33	0,57
M-V2	9	18,5	0,89	21	0,44
M-V3	7	15	0,89	17	0,39
M-T1	9	68	0,93	73	0,13
M-T4	3	5,5	0,85	6	0,39
M-PE-12	8	18,5	0,89	21	0,37
M-PE-13	8	18,5	0,89	21	0,37
M-PE-14	10	18,5	0,89	21	0,48
M-E1001	3	5,5	0,85	6	0,39
M-E1002	3	5,5	0,85	6	0,44
M-E1003	3	5,5	0,85	6	0,4
M-E1004	3	5,5	0,85	6	0,45
M-E1005	2	5,5	0,85	6	0,36
M-E1006	3	5,5	0,85	6	0,52
M-E1007	3	5,5	0,85	6	0,4
M-E1008	2	5,5	0,85	6	0,37
M-E1009	3	5,5	0,85	6	0,42
M-E1010	2	5,5	0,85	6	0,34
M-E1011	3	5,5	0,85	6	0,41
M-E1012	3	5,5	0,85	6	0,44
M-GA50	52	50	0,92	54	0,97
M-GA45	45	45	0,92	49	0,92
M-EG-P3	5	7,5	0,86	9	0,52
M-EP-P6	8,18	11,2	0,88	12,79	0,64
M-EP-P7	11,84	22	0,9	24,47	0,48

Anexo 12. Procedimiento obtención tablas normalizadas para distintas velocidades y estándares de eficiencias.

La norma IEC 60034-2-1 establece los límites de eficiencia para distintos valores de potencia, los cuales son calculados aplicando la siguiente fórmula de interpolación [UNIT10].

$$\eta_N = A \times \left[\log_{10} \left(\frac{P_N}{1 \text{ kW}} \right) \right]^3 + B \times \left[\log_{10} \left(\frac{P_N}{1 \text{ kW}} \right) \right]^2 + C \times \log_{10} \left(\frac{P_N}{1 \text{ kW}} \right) + D$$

Los coeficientes de interpolación utilizados en esta fórmula son indicados en la tabla 10.2.

Tabla 10.2. Tabla coeficientes de interpolación para establecer los límites de eficiencia operacional, en motores eléctricos, para distintos valores de potencia.

Clase de Eficiencia	Coeficientes	2 Polos	4 Polos	6 Polos
IE1	A	0,5234	0,5234	0,0786
	B	-5,0499	-5,0499	-3,5838
	C	17,418	17,418	17,2918
	D	74,3171	74,3171	72,2383
IE2	A	0,2972	0,0278	0,0148
	B	-3,3454	-1,9247	-2,4978
	C	13,0651	10,4395	13,247
	D	79,077	80,9761	77,5603
IE3	A	0,3569	0,0773	0,1252
	B	-3,376	-1,8951	-2,613
	C	11,6108	9,2984	11,9963
	D	82,2503	83,7025	80,4769

Fuente: Elaboración propia

En las tablas siguientes se encuentra la eficiencia normalizada para distintas clases de eficiencia, factores de carga, potencias nominales y número de polos [IEC09].

Eficiencia normalizada para clase IE1						
Potencia nominal (kW)	Número de polos					
	2		4		6	
	Eficiencia		Eficiencia		Eficiencia	
	FC	3/4 FC	FC	3/4 FC	FC	3/4 FC
0,37	0,66	0,65	0,66	0,65	0,64	0,61
0,55	0,69	0,65	0,69	0,65	0,68	0,66
0,75	0,72	0,68	0,72	0,68	0,70	0,68
1,1	0,75	0,72	0,75	0,72	0,73	0,71
1,5	0,77	0,74	0,77	0,74	0,75	0,74
2,2	0,80	0,78	0,80	0,78	0,78	0,76
3	0,82	0,81	0,82	0,81	0,80	0,79
4	0,83	0,81	0,83	0,81	0,81	0,80
5,5	0,85	0,83	0,85	0,83	0,83	0,81
7,5	0,86	0,85	0,86	0,85	0,85	0,83
9,2	0,87	0,86	0,87	0,86	0,86	0,85
11	0,88	0,87	0,88	0,87	0,86	0,85
15	0,89	0,86	0,89	0,86	0,88	0,86
18,5	0,89	0,88	0,89	0,88	0,89	0,88
22	0,90	0,88	0,90	0,88	0,89	0,88
30	0,91	0,88	0,91	0,88	0,90	0,88
37	0,91	0,90	0,91	0,90	0,91	0,90
45	0,92	0,91	0,92	0,91	0,91	0,90
55	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91
75	0,93	0,91	0,93	0,91	0,93	0,92
90	0,93	0,91	0,93	0,91	0,93	0,92
110	0,93	0,92	0,93	0,92	0,93	0,92
130	0,94	0,92	0,94	0,92	0,94	0,92
150	0,94	0,93	0,94	0,93	0,94	0,92

Eficiencia normalizada para clase IE2						
Potencia nominal (kW)	Número de polos					
	2		4		6	
	Eficiencia		Eficiencia		Eficiencia	
	FC	3/4 FC	FC	3/4 FC	FC	3/4 FC
0,37	0,73	0,70	0,76	0,75	0,71	0,69
0,55	0,75	0,75	0,78	0,75	0,74	0,75
0,75	0,77	0,76	0,80	0,79	0,76	0,73
1,1	0,80	0,80	0,81	0,80	0,78	0,76
1,5	0,81	0,79	0,83	0,82	0,80	0,78
2,2	0,83	0,81	0,84	0,82	0,82	0,82
3,7	0,85	0,83	0,86	0,86	0,84	0,83
5,5	0,87	0,86	0,88	0,88	0,86	0,84
7,5	0,88	0,87	0,89	0,89	0,87	0,87
9,3	0,89	0,87	0,89	0,89	0,88	0,88
11	0,89	0,88	0,90	0,90	0,89	0,88
15	0,90	0,90	0,91	0,91	0,90	0,90
18,5	0,91	0,90	0,91	0,91	0,90	0,90
22	0,91	0,90	0,92	0,91	0,91	0,91
30	0,92	0,91	0,92	0,92	0,92	0,91
37	0,92	0,92	0,93	0,93	0,92	0,92
45	0,93	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92
55	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
75	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94
90	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94

Eficiencia normalizada para clase IE3						
Potencia nominal (kW)	Número de polos					
	2		4		6	
	Eficiencia		Eficiencia		Eficiencia	
	FC	3/4 FC	FC	3/4 FC	FC	3/4 FC
0,37	0,77	0,77	0,79	0,79	0,75	0,75
0,55	0,79	0,79	0,81	0,81	0,77	0,77
0,75	0,81	0,80	0,83	0,84	0,79	0,79
1,1	0,83	0,83	0,84	0,84	0,81	0,81
1,5	0,84	0,84	0,85	0,85	0,83	0,83
2,2	0,86	0,86	0,87	0,87	0,84	0,84
3,7	0,88	0,88	0,88	0,88	0,86	0,86
5,5	0,89	0,89	0,90	0,90	0,88	0,88
7,5	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89
9,3	0,91	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90
11	0,91	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90
15	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91
18,5	0,92	0,92	0,93	0,93	0,92	0,92
22	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92
30	0,93	0,93	0,94	0,94	0,93	0,93
37	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93
45	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
55	0,94	0,94	0,95	0,95	0,94	0,94
75	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
90	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
110	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
125	0,95	0,94	0,96	0,96	0,95	0,95
132	0,95	0,94	0,96	0,96	0,95	0,95
150	0,95	0,94	0,96	0,96	0,95	0,95

Anexo 13. Procedimiento obtención eficiencia según la carga a la que opera el motor.

La Norma IEC 60034-1 presenta un procedimiento para la obtención de la eficiencia según a la carga a la que opera el motor en base a las siguientes ecuaciones:

$$V_L = \frac{\left(\frac{1}{\eta_{100}} - 1\right) - 0,75 \times \left(\frac{1}{\eta_{75}} - 1\right)}{0,4375}$$

$$V_0 = \left(\frac{1}{\eta_{100}} - 1\right) - V_L$$

$$\eta_p = \frac{1}{1 + \frac{V_0}{\rho} + V_L \times \rho}$$

Dónde:

η_{100} = Eficiencia nominal al 100% de carga del motor

η_{75} = Eficiencia nominal al 75% de carga del motor

V_L, V_0 = Valores intermedios

ρ = Carga del motor a la que se desea obtener su eficiencia operacional

η_p = Eficiencia resultante

Las siguientes tablas representan la eficiencia a la que opera un motor en base a la carga a la cual trabajan los motores analizados [IEC09].

Equipo	Carga	Eficiencia IE1	Eficiencia IE2	Eficiencia IE3
M-PH3	0,69	0,85	0,89	0,91
M-PH4	0,39	0,72	0,79	0,83
M-E3001	0,64	0,75	0,82	0,84
M-E3002	0,63	0,74	0,81	0,84
M-E3003	0,55	0,70	0,79	0,81
M-E3004	0,50	0,68	0,77	0,79
M-E3005	0,77	0,80	0,91	0,92
M-E3006	0,88	0,84	0,91	0,92
M-E3007	0,54	0,70	0,78	0,81
M-E3008	0,73	0,79	0,84	0,86
M-PH5	0,36	0,70	0,77	0,82
M-E7201	0,70	0,77	0,83	0,86
M-E7202	0,35	0,57	0,68	0,72
M-E7203	0,67	0,76	0,83	0,85
M-E7204	0,57	0,65	0,73	0,77
M-E7301	0,55	0,70	0,78	0,81
M-E7302	0,90	0,85	0,91	0,92
M-E7303	0,50	0,67	0,76	0,79
M-E7304	0,54	0,70	0,78	0,81
M-E7305	0,47	0,66	0,75	0,78
M-E7805	0,75	0,74	0,87	0,89
M-E7806	0,72	0,73	0,78	0,81
M-E7807	0,55	0,64	0,71	0,75
M-E7808	0,53	0,63	0,71	0,74
M-E7809	0,48	0,58	0,63	0,70
M-E7501	0,46	0,56	0,61	0,68
M-PE-1	0,36	0,49	0,58	0,63
M-PE-2	0,37	0,50	0,59	0,64
M-PE-3	0,63	0,66	0,73	0,77
M-PE-4	0,37	0,50	0,59	0,64
M-E2001	0,78	0,76	0,88	0,90
M-E2002	0,63	0,68	0,76	0,79
M-E502	0,55	0,58	0,65	0,70
M-E503	0,79	0,76	0,87	0,89
M-E504	0,34	0,46	0,53	0,61
M-E505	0,57	0,59	0,66	0,71
M-E506	0,54	0,57	0,64	0,70
M-E507	0,55	0,54	0,62	0,66
M-E508	0,41	0,45	0,53	0,58
M-E801	0,50	0,59	0,64	0,70
M-E802	0,54	0,61	0,66	0,73
M-E803	0,57	0,63	0,68	0,74
M-MH1	0,26	0,49	0,61	0,65

Equipo	Carga	Eficiencia IE1	Eficiencia IE2	Eficiencia IE3
M-PE-6	0,56	0,71	0,77	0,80
M-PE-7	0,35	0,62	0,69	0,73
M-PE-9	0,41	0,66	0,72	0,76
M-PE-10	0,37	0,64	0,70	0,74
M-V1	0,31	0,54	0,65	0,69
M-SM2	0,30	0,53	0,64	0,68
M-SM3	0,27	0,54	0,63	0,68
M-SM4	0,27	0,54	0,63	0,69
M-SM1	0,27	0,54	0,63	0,68
M-PF-1	0,26	0,52	0,60	0,64
M-PF-2	0,25	0,49	0,57	0,62
M-VPF-2	0,42	0,54	0,58	0,66
M-PF-3	0,33	0,57	0,64	0,68
M-VPF-3	0,94	0,81	0,84	0,88
M-PF-4	0,20	0,46	0,58	0,63
M-VPF-4	0,14	0,32	0,40	0,45
M-PF-5	0,31	0,58	0,66	0,71
M-VPF-5	0,09	0,27	0,33	0,37
M-PF-6	0,33	0,59	0,68	0,73
M-VPF-6	0,14	0,36	0,44	0,48
M-DA	0,57	0,75	1,02	1,02
M-V2	0,44	0,68	0,74	0,78
M-V3	0,39	0,60	0,71	0,74
M-T1	0,13	0,44	0,53	0,59
M-T4	0,39	0,54	0,64	0,68
M-PE-12	0,37	0,64	0,70	0,74
M-PE-13	0,37	0,64	0,70	0,74
M-PE-14	0,48	0,71	0,76	0,80
M-E1001	0,39	0,54	0,64	0,68
M-E1002	0,44	0,58	0,67	0,71
M-E1003	0,40	0,55	0,64	0,68
M-E1004	0,45	0,58	0,67	0,71
M-E1005	0,36	0,52	0,61	0,66
M-E1006	0,52	0,63	0,71	0,75
M-E1007	0,40	0,55	0,64	0,68
M-E1008	0,37	0,53	0,62	0,67
M-E1009	0,42	0,56	0,65	0,70
M-E1010	0,34	0,50	0,60	0,64
M-E1011	0,41	0,56	0,65	0,69
M-E1012	0,44	0,57	0,66	0,71
M-GA50	0,97	0,91	0,93	0,94
M-GA45	0,92	0,90	0,93	0,94
M-EG-P3	0,52	0,66	0,73	0,77
M-EP-P6	0,64	0,75	0,80	0,83
M-EP-P7	0,48	0,70	0,70	0,74

Anexo 14. Tablas factores de corrección y eficiencia estimada de funcionamiento motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Eficiencia según CE	FC1	FC2	FC3	FC4			Eficiencia corregida		
					0	1	2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PH3	0,85	0,9990	0,9940	0,9190	1	0,97	0,94	0,77	0,75	0,73
M-PH4	0,72	0,9990	0,9466	0,8360	1	0,97	0,94	0,57	0,55	0,53
M-E3001	0,75	0,9999	0,9936	0,9520	1	0,97	0,94	0,71	0,69	0,67
M-E3002	0,74	0,9999	0,9925	0,9656	1	0,97	0,94	0,71	0,69	0,67
M-E3003	0,70	0,9999	0,9835	0,9520	1	0,97	0,94	0,66	0,64	0,62
M-E3004	0,68	0,9990	0,9760	0,9656	1	0,97	0,94	0,64	0,62	0,60
M-E3005	0,80	1,0000	0,9973	0,9656	1	0,97	0,94	0,77	0,75	0,73
M-E3006	0,84	0,9999	0,9991	0,9520	1	0,97	0,94	0,80	0,78	0,75
M-E3007	0,70	1,0000	0,9813	0,9656	1	0,97	0,94	0,66	0,64	0,62
M-E3008	0,79	1,0000	0,9980	0,9860	1	0,97	0,94	0,77	0,75	0,73
M-PH5	0,70	0,9991	0,9400	0,9770	1	0,97	0,94	0,64	0,62	0,60
M-E7201	0,77	0,9990	0,9970	0,9364	1	0,97	0,94	0,72	0,70	0,68
M-E7202	0,57	0,9990	0,9492	0,9860	1	0,97	0,94	0,54	0,52	0,50
M-E7203	0,76	0,9990	0,9955	0,9656	1	0,97	0,94	0,73	0,71	0,69
M-E7204	0,65	0,9990	0,9850	0,9923	1	0,97	0,94	0,64	0,62	0,60
M-E7301	0,70	1,0000	0,9826	0,9656	1	0,97	0,94	0,67	0,65	0,63
M-E7302	0,85	0,9990	0,9991	0,9770	1	0,97	0,94	0,83	0,81	0,78
M-E7303	0,67	0,9990	0,9756	0,9923	1	0,97	0,94	0,65	0,63	0,61
M-E7304	0,70	0,9990	0,9812	0,9860	1	0,97	0,94	0,67	0,65	0,63
M-E7305	0,66	1,0000	0,9712	0,9860	1	0,97	0,94	0,63	0,61	0,59
M-E7805	0,74	1,0000	0,9935	0,9860	1	0,97	0,94	0,73	0,71	0,68
M-E7806	0,73	0,9990	0,9910	0,9656	1	0,97	0,94	0,70	0,68	0,65
M-E7807	0,64	0,9990	0,9733	0,9656	1	0,97	0,94	0,60	0,59	0,57
M-E7808	0,63	1,0000	0,9714	0,9860	1	0,97	0,94	0,61	0,59	0,57
M-E7809	0,58	1,0000	0,9721	0,9860	1	0,97	0,94	0,55	0,54	0,52
M-E7501	0,56	1,0000	0,9644	0,9656	1	0,97	0,94	0,52	0,51	0,49
M-PE-1	0,49	0,9990	0,9464	0,9770	1	0,97	0,94	0,45	0,44	0,42
M-PE-2	0,50	0,9999	0,9493	0,9770	1	0,97	0,94	0,46	0,45	0,44
M-PE-3	0,66	0,9990	0,9836	0,9770	1	0,97	0,94	0,63	0,61	0,60
M-PE-4	0,50	0,9990	0,9495	0,9770	1	0,97	0,94	0,46	0,45	0,44
M-E2001	0,76	0,9990	0,9972	0,9923	1	0,97	0,94	0,75	0,72	0,70
M-E2002	0,68	1,0000	0,9919	0,9770	1	0,97	0,94	0,66	0,64	0,62
M-E502	0,58	0,9990	0,9756	0,9770	1	0,97	0,94	0,55	0,53	0,52
M-E503	0,76	0,9999	0,9960	0,9656	1	0,97	0,94	0,73	0,71	0,69
M-E504	0,46	1,0000	0,9563	0,9860	1	0,97	0,94	0,44	0,42	0,41
M-E505	0,59	1,0000	0,9780	0,9860	1	0,97	0,94	0,57	0,55	0,53
M-E506	0,57	0,9990	0,9748	0,9770	1	0,97	0,94	0,54	0,53	0,51
M-E507	0,54	0,9990	0,9869	0,9770	1	0,97	0,94	0,52	0,50	0,49
M-E508	0,45	0,9990	0,9647	0,9770	1	0,97	0,94	0,42	0,41	0,40
M-E801	0,59	0,9990	0,9742	0,9656	1	0,97	0,94	0,55	0,54	0,52
M-E802	0,61	0,9990	0,9794	0,9923	1	0,97	0,94	0,60	0,58	0,56
M-E803	0,63	0,9990	0,9824	0,9770	1	0,97	0,94	0,60	0,59	0,57
M-MH1	0,49	0,9990	0,9269	0,9770	1	0,97	0,94	0,44	0,43	0,42

Equipo	Eficiencia según CE	FC1	FC2	FC3	FC4			Eficiencia corregida		
					0	1	2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PE-6	0,71	0,9990	0,9851	0,9520	1	0,97	0,94	0,67	0,65	0,63
M-PE-7	0,62	0,9990	0,9379	0,9520	1	0,97	0,94	0,56	0,54	0,52
M-PE-9	0,66	0,9990	0,9514	0,9520	1	0,97	0,94	0,60	0,58	0,56
M-PE-10	0,64	0,9990	0,9443	0,9190	1	0,97	0,94	0,55	0,54	0,52
M-V1	0,54	1,0000	0,9403	0,9190	1	0,97	0,94	0,47	0,45	0,44
M-SM2	0,53	0,9990	0,9371	0,9770	1	0,97	0,94	0,48	0,47	0,45
M-SM3	0,54	1,0000	0,9358	0,9923	1	0,97	0,94	0,50	0,49	0,47
M-SM4	0,54	1,0000	0,9363	0,9860	1	0,97	0,94	0,50	0,49	0,47
M-SM1	0,54	1,0000	0,9356	0,9860	1	0,97	0,94	0,50	0,48	0,47
M-PF-1	0,52	1,0000	0,9242	0,9770	1	0,97	0,94	0,47	0,46	0,45
M-PF-2	0,49	0,9990	0,9262	0,9656	1	0,97	0,94	0,44	0,43	0,42
M-VPF-2	0,54	0,9990	0,9717	0,9656	1	0,97	0,94	0,50	0,49	0,47
M-PF-3	0,57	0,9990	0,9457	0,9656	1	0,97	0,94	0,52	0,50	0,49
M-VPF-3	0,81	1,0000	0,9986	0,9656	1	0,97	0,94	0,78	0,76	0,73
M-PF-4	0,46	0,9990	0,8964	0,9770	1	0,97	0,94	0,40	0,39	0,38
M-VPF-4	0,32	0,9990	0,9032	0,9520	1	0,97	0,94	0,27	0,26	0,26
M-PF-5	0,58	0,9990	0,9451	0,9656	1	0,97	0,94	0,53	0,51	0,50
M-VPF-5	0,27	0,9990	0,8315	0,9656	1	0,97	0,94	0,22	0,21	0,21
M-PF-6	0,59	0,9990	0,9492	0,9860	1	0,97	0,94	0,56	0,54	0,52
M-VPF-6	0,36	0,9990	0,8714	0,9656	1	0,97	0,94	0,30	0,29	0,28
M-DA	0,75	0,9990	0,9796	0,9364	1	0,97	0,94	0,69	0,67	0,65
M-V2	0,68	0,9990	0,9611	0,9770	1	0,97	0,94	0,64	0,62	0,60
M-V3	0,60	0,9990	0,9567	0,9656	1	0,97	0,94	0,56	0,54	0,52
M-T1	0,44	0,9990	0,8349	0,9656	1	0,97	0,94	0,36	0,34	0,33
M-T4	0,54	0,9990	0,9581	0,9860	1	0,97	0,94	0,51	0,50	0,48
M-PE-12	0,64	0,9990	0,9489	0,9770	1	0,97	0,94	0,59	0,57	0,56
M-PE-13	0,64	0,9990	0,9489	0,9770	1	0,97	0,94	0,59	0,57	0,56
M-PE-14	0,71	0,9990	0,9694	0,9770	1	0,97	0,94	0,67	0,65	0,63
M-E1001	0,54	1,0000	0,9580	0,9770	1	0,97	0,94	0,51	0,49	0,48
M-E1002	0,58	1,0000	0,9667	0,9770	1	0,97	0,94	0,55	0,53	0,51
M-E1003	0,55	0,9990	0,9591	0,9770	1	0,97	0,94	0,51	0,50	0,48
M-E1004	0,58	1,0000	0,9686	0,9656	1	0,97	0,94	0,55	0,53	0,51
M-E1005	0,52	0,9990	0,9522	0,9656	1	0,97	0,94	0,48	0,46	0,45
M-E1006	0,63	0,9999	0,9791	0,9923	1	0,97	0,94	0,61	0,59	0,57
M-E1007	0,55	1,0000	0,9598	0,9770	1	0,97	0,94	0,52	0,50	0,48
M-E1008	0,53	1,0000	0,9542	0,9520	1	0,97	0,94	0,48	0,46	0,45
M-E1009	0,56	1,0000	0,9630	0,9770	1	0,97	0,94	0,53	0,51	0,50
M-E1010	0,50	1,0000	0,9479	0,9770	1	0,97	0,94	0,46	0,45	0,44
M-E1011	0,56	1,0000	0,9615	0,9770	1	0,97	0,94	0,52	0,51	0,49
M-E1012	0,57	1,0000	0,9661	0,9520	1	0,97	0,94	0,53	0,51	0,50
M-GA50	0,91	0,9996	0,9988	0,9656	1	0,97	0,94	0,88	0,85	0,83
M-GA45	0,90	0,9997	0,9989	0,9923	1	0,97	0,94	0,89	0,86	0,84
M-EG-P3	0,66	0,9990	0,9836	0,9656	1	0,97	0,94	0,63	0,61	0,59
M-EP-P6	0,74870946	0,99901	0,98719	0,986	1	0,97	0,94	0,72805	0,70621	0,68437
M-EP-P7	0,69639898	1,00001	0,975	0,986	1	0,97	0,94	0,66949	0,6494	0,62932

Anexo 15. Tablas eficiencia de alternativas de reemplazo motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Eficiencia	
	IE2	IE3
M-PH3	0,89	0,91
M-PH4	0,79	0,83
M-E3001	0,82	0,84
M-E3002	0,81	0,84
M-E3003	0,79	0,81
M-E3004	0,77	0,79
M-E3005	0,91	0,92
M-E3006	0,91	0,92
M-E3007	0,78	0,81
M-E3008	0,84	0,86
M-PH5	0,77	0,82
M-E7201	0,83	0,86
M-E7202	0,68	0,72
M-E7203	0,83	0,85
M-E7204	0,73	0,77
M-E7301	0,78	0,81
M-E7302	0,91	0,92
M-E7303	0,76	0,79
M-E7304	0,78	0,81
M-E7305	0,75	0,78
M-E7805	0,87	0,89
M-E7806	0,78	0,81
M-E7807	0,71	0,75
M-E7808	0,71	0,74
M-E7809	0,63	0,70
M-E7501	0,61	0,68
M-PE-1	0,58	0,63
M-PE-2	0,59	0,64
M-PE-3	0,73	0,77
M-PE-4	0,59	0,64
M-E2001	0,88	0,90
M-E2002	0,76	0,79
M-E502	0,65	0,70
M-E503	0,87	0,89
M-E504	0,53	0,61
M-E505	0,66	0,71
M-E506	0,64	0,70
M-E507	0,62	0,66
M-E508	0,53	0,58
M-E801	0,64	0,70
M-E802	0,66	0,73
M-E803	0,68	0,74
M-MH1	0,61	0,65

Equipo	Eficiencia	
	IE2	IE3
M-PE-6	0,77	0,80
M-PE-7	0,69	0,73
M-PE-9	0,72	0,76
M-PE-10	0,70	0,74
M-V1	0,65	0,69
M-SM2	0,64	0,68
M-SM3	0,63	0,68
M-SM4	0,63	0,69
M-SM1	0,63	0,68
M-PF-1	0,60	0,64
M-PF-2	0,57	0,62
M-VPF-2	0,58	0,66
M-PF-3	0,64	0,68
M-VPF-3	0,84	0,88
M-PF-4	0,58	0,63
M-VPF-4	0,40	0,45
M-PF-5	0,66	0,71
M-VPF-5	0,33	0,37
M-PF-6	0,68	0,73
M-VPF-6	0,44	0,48
M-DA	1,02	1,02
M-V2	0,74	0,78
M-V3	0,71	0,74
M-T1	0,53	0,59
M-T4	0,64	0,68
M-PE-12	0,70	0,74
M-PE-13	0,70	0,74
M-PE-14	0,76	0,80
M-E1001	0,64	0,68
M-E1002	0,67	0,71
M-E1003	0,64	0,68
M-E1004	0,67	0,71
M-E1005	0,61	0,66
M-E1006	0,71	0,75
M-E1007	0,64	0,68
M-E1008	0,62	0,67
M-E1009	0,65	0,70
M-E1010	0,60	0,64
M-E1011	0,65	0,69
M-E1012	0,66	0,71
M-GA50	0,93	0,94
M-GA45	0,93	0,94
M-EG-P3	0,73	0,77
M-EP-P6	0,80	0,83
M-EP-P7	0,70	0,74

Anexo 16. Tablas reducción de demanda por reemplazo motores seleccionados en la PPL.

Equipo	Reducción demanda IE2 (kW)			Reducción demanda IE3 (kW)		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PH3	10,36	12,86	15,52	12,07	14,56	17,22
M-PH4	17,64	19,57	21,63	19,80	21,73	23,79
M-E3001	1,84	2,26	2,71	2,17	2,59	3,04
M-E3002	1,68	2,09	2,53	2,01	2,42	2,86
M-E3003	2,04	2,43	2,85	2,38	2,77	3,18
M-E3004	2,00	2,36	2,75	2,34	2,71	3,10
M-E3005	2,21	2,68	3,17	2,38	2,85	3,34
M-E3006	1,87	2,38	2,92	2,11	2,61	3,15
M-E3007	1,90	2,28	2,68	2,24	2,62	3,02
M-E3008	1,18	1,62	2,09	1,50	1,94	2,40
M-PH5	8,87	10,45	12,12	11,06	12,64	14,32
M-E7201	1,99	2,44	2,92	2,31	2,76	3,24
M-E7202	2,11	2,41	2,73	2,46	2,77	3,09
M-E7203	1,61	2,03	2,48	1,93	2,36	2,81
M-E7204	0,63	0,78	0,94	0,83	0,98	1,14
M-E7301	1,88	2,26	2,67	2,22	2,60	3,01
M-E7302	1,33	1,83	2,37	1,57	2,07	2,61
M-E7303	1,69	2,04	2,42	2,03	2,39	2,77
M-E7304	1,66	2,03	2,43	2,00	2,37	2,77
M-E7305	1,82	2,17	2,54	2,17	2,52	2,89
M-E7805	1,12	1,33	1,56	1,24	1,45	1,68
M-E7806	0,76	0,97	1,20	0,97	1,18	1,41
M-E7807	0,94	1,12	1,32	1,17	1,35	1,55
M-E7808	0,82	1,00	1,19	1,05	1,23	1,42
M-E7809	0,48	0,61	0,75	0,85	0,98	1,12
M-E7501	0,56	0,69	0,82	0,92	1,04	1,17
M-PE-1	0,64	0,73	0,82	0,80	0,89	0,98
M-PE-2	0,63	0,72	0,81	0,79	0,88	0,97
M-PE-3	0,48	0,59	0,71	0,63	0,74	0,85
M-PE-4	0,63	0,72	0,81	0,79	0,88	0,97
M-E2001	0,85	1,03	1,22	0,95	1,13	1,32
M-E2002	0,64	0,80	0,97	0,84	1,00	1,17
M-E502	0,40	0,48	0,56	0,56	0,64	0,72
M-E503	1,15	1,37	1,60	1,27	1,49	1,73
M-E504	0,53	0,63	0,73	0,87	0,97	1,07
M-E505	0,36	0,44	0,53	0,52	0,60	0,69
M-E506	0,40	0,48	0,56	0,56	0,64	0,73
M-E507	0,39	0,46	0,53	0,50	0,58	0,65
M-E508	0,46	0,52	0,59	0,58	0,65	0,72
M-E801	0,57	0,70	0,85	0,93	1,07	1,21
M-E802	0,43	0,56	0,71	0,78	0,91	1,06
M-E803	0,48	0,62	0,77	0,82	0,96	1,11

Equipo	Reducción demanda IE2 (kW)			Reducción demanda IE3 (kW)		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PE-6	1,21	1,50	1,80	1,54	1,82	2,13
M-PE-7	2,10	2,43	2,79	2,57	2,90	3,26
M-PE-9	2,07	2,44	2,83	2,54	2,91	3,30
M-PE-10	2,52	2,89	3,27	3,00	3,37	3,75
M-V1	2,86	3,17	3,50	3,22	3,53	3,86
M-SM2	2,30	2,59	2,89	2,66	2,95	3,25
M-SM3	2,46	2,83	3,22	3,18	3,54	3,94
M-SM4	2,54	2,91	3,30	3,25	3,62	4,02
M-SM1	2,54	2,91	3,30	3,25	3,62	4,01
M-PF-1	2,17	2,49	2,83	2,73	3,05	3,39
M-PF-2	1,41	1,61	1,81	1,78	1,97	2,18
M-VPF-2	0,65	0,79	0,95	1,10	1,24	1,39
M-PF-3	1,34	1,56	1,79	1,70	1,91	2,14
M-VPF-3	0,48	0,69	0,90	0,76	0,97	1,19
M-PF-4	4,44	4,89	5,37	5,18	5,63	6,11
M-VPF-4	1,25	1,38	1,51	1,54	1,66	1,79
M-PF-5	2,60	3,00	3,43	3,32	3,72	4,15
M-VPF-5	2,64	2,88	3,13	3,16	3,40	3,66
M-PF-6	2,42	2,83	3,26	3,12	3,53	3,96
M-VPF-6	2,63	2,89	3,17	3,20	3,47	3,75
M-DA	8,20	8,97	9,79	8,13	8,90	9,72
M-V2	1,76	2,15	2,57	2,26	2,65	3,06
M-V3	2,24	2,57	2,91	2,60	2,92	3,26
M-T1	7,94	8,69	9,49	9,52	10,27	11,07
M-T4	0,82	0,95	1,09	1,04	1,17	1,31
M-PE-12	1,87	2,23	2,62	2,38	2,74	3,12
M-PE-13	1,87	2,23	2,62	2,38	2,74	3,12
M-PE-14	1,67	2,08	2,52	2,15	2,57	3,01
M-E1001	0,86	0,99	1,13	1,07	1,20	1,34
M-E1002	0,81	0,95	1,10	1,03	1,16	1,31
M-E1003	0,86	0,99	1,13	1,07	1,20	1,35
M-E1004	0,86	1,00	1,15	1,07	1,21	1,36
M-E1005	0,93	1,06	1,20	1,15	1,28	1,42
M-E1006	0,67	0,81	0,97	0,87	1,02	1,17
M-E1007	0,85	0,98	1,12	1,06	1,20	1,34
M-E1008	0,98	1,12	1,26	1,20	1,33	1,47
M-E1009	0,83	0,97	1,11	1,05	1,18	1,33
M-E1010	0,90	1,02	1,16	1,12	1,24	1,38
M-E1011	0,84	0,97	1,12	1,05	1,19	1,33
M-E1012	0,93	1,08	1,23	1,15	1,29	1,44
M-GA50	2,67	4,37	6,17	3,47	5,17	6,97
M-GA45	1,92	3,36	4,89	2,35	3,79	5,32
M-EG-P3	0,90	1,10	1,30	1,16	1,35	1,56
M-EP-P6	0,87	1,17	1,50	1,18	1,49	1,81
M-EP-P7	0,80	1,29	1,82	1,55	2,04	2,56

Anexo 17. Tablas energía ahorrada anualmente por reemplazo motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Energía ahorrada IE2 (kWh)			Energía ahorrada IE3 (kWh)		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PH3	7.460,69	9.258,84	11.171,77	8.688,25	10.486,40	12.399,33
M-PH4	12.701,95	14.091,94	15.570,65	14.258,81	15.648,80	17.127,51
M-E3001	883,99	1.086,53	1.302,01	1.041,66	1.244,21	1.459,68
M-E3002	805,38	1.002,96	1.213,15	963,81	1.161,39	1.371,58
M-E3003	979,76	1.166,91	1.366,00	1.142,55	1.329,70	1.528,79
M-E3004	959,47	1.135,15	1.322,05	1.124,89	1.300,57	1.487,47
M-E3005	1.062,99	1.285,71	1.522,64	1.142,96	1.365,68	1.602,62
M-E3006	897,47	1.141,22	1.400,52	1.011,21	1.254,96	1.514,26
M-E3007	913,15	1.094,85	1.288,15	1.076,79	1.258,49	1.451,79
M-E3008	568,41	778,10	1.001,18	720,62	930,31	1.153,39
M-PH5	6.384,48	7.520,66	8.729,37	7.964,36	9.100,55	10.309,26
M-E7201	956,35	1.171,74	1.400,88	1.110,68	1.326,07	1.555,21
M-E7202	1.011,08	1.156,78	1.311,77	1.182,61	1.328,31	1.483,30
M-E7203	770,55	975,00	1.192,49	926,56	1.131,00	1.348,50
M-E7204	301,36	374,05	451,37	397,08	469,77	547,09
M-E7301	901,58	1.085,24	1.280,62	1.064,64	1.248,30	1.443,68
M-E7302	636,73	878,77	1.136,25	753,82	995,85	1.253,34
M-E7303	810,19	980,95	1.162,61	975,68	1.146,44	1.328,10
M-E7304	797,06	975,45	1.165,22	960,64	1.139,02	1.328,79
M-E7305	873,88	1.040,75	1.218,26	1.040,68	1.207,54	1.385,06
M-E7805	539,36	640,17	747,40	597,36	698,17	805,40
M-E7806	367,10	467,98	575,30	466,41	567,29	674,61
M-E7807	449,35	538,48	633,30	559,85	648,99	743,81
M-E7808	394,57	480,69	572,31	505,94	592,06	683,68
M-E7809	231,87	294,11	360,33	409,46	471,70	537,92
M-E7501	270,80	329,29	391,51	440,93	499,41	561,64
M-PE-1	1.226,21	1.395,49	1.575,58	1.534,68	1.703,96	1.884,05
M-PE-2	1.205,38	1.377,27	1.560,14	1.512,20	1.684,10	1.866,97
M-PE-3	929,77	1.141,12	1.365,97	1.202,26	1.413,61	1.638,45
M-PE-4	1.209,15	1.381,42	1.564,68	1.515,85	1.688,11	1.871,37
M-E2001	408,09	493,11	583,55	457,73	542,75	633,19
M-E2002	308,50	385,72	467,88	400,92	478,14	560,29
M-E502	190,40	228,81	269,68	267,91	306,33	347,19
M-E503	549,71	655,39	767,83	610,85	716,54	828,97
M-E504	255,52	302,05	351,56	418,49	465,02	514,53
M-E505	174,07	212,64	253,67	250,27	288,84	329,86
M-E506	191,51	229,75	270,44	269,41	307,65	348,34
M-E507	185,05	219,56	256,27	242,01	276,52	313,23
M-E508	218,46	250,12	283,80	279,05	310,71	344,39
M-E801	272,76	337,23	405,81	447,91	512,38	580,96
M-E802	205,22	270,09	339,10	373,61	438,48	507,49
M-E803	231,34	298,58	370,11	395,16	462,40	533,93
M-MH1	1.709,16	1.904,24	2.111,77	1.970,46	2.165,54	2.373,07

Equipo	Energía ahorrada IE2 (kWh)			Energía ahorrada IE3 (kWh)		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PE-6	2.327,14	2.875,74	3.459,36	2.950,55	3.499,15	4.082,76
M-PE-7	4.035,88	4.674,48	5.353,84	4.934,04	5.572,64	6.252,00
M-PE-9	3.978,15	4.683,02	5.432,89	4.886,20	5.591,07	6.340,94
M-PE-10	4.844,69	5.542,61	6.285,06	5.763,57	6.461,48	7.203,94
M-V1	2.058,33	2.280,39	2.516,63	2.317,59	2.539,65	2.775,88
M-SM2	1.932,13	2.171,87	2.426,91	2.235,25	2.474,98	2.730,02
M-SM3	2.069,56	2.379,29	2.708,80	2.667,85	2.977,58	3.307,09
M-SM4	2.129,63	2.442,41	2.775,15	2.727,54	3.040,32	3.373,06
M-SM1	2.133,22	2.443,31	2.773,20	2.732,03	3.042,12	3.372,01
M-PF-1	3.124,36	3.583,28	4.071,49	3.936,60	4.395,52	4.883,74
M-PF-2	2.035,28	2.314,53	2.611,61	2.558,98	2.838,24	3.135,32
M-VPF-2	78,28	95,36	113,52	131,72	148,80	166,96
M-PF-3	1.927,68	2.239,29	2.570,80	2.441,44	2.753,06	3.084,56
M-VPF-3	57,52	82,26	108,58	91,63	116,37	142,69
M-PF-4	6.396,16	7.043,61	7.732,40	7.463,94	8.111,40	8.800,19
M-VPF-4	150,52	165,24	180,90	184,54	199,26	214,92
M-PF-5	3.741,51	4.322,80	4.941,20	4.778,50	5.359,79	5.978,19
M-VPF-5	317,03	345,61	376,01	379,77	408,35	438,75
M-PF-6	3.487,88	4.073,45	4.696,39	4.493,25	5.078,82	5.701,76
M-VPF-6	315,00	346,65	380,32	384,34	415,99	449,65
M-DA	6.889,48	7.536,88	8.225,62	6.831,66	7.479,07	8.167,80
M-V2	1.690,83	2.066,68	2.466,52	2.165,21	2.541,06	2.940,90
M-V3	2.152,16	2.463,01	2.793,70	2.492,66	2.803,51	3.134,20
M-T1	7.623,57	8.343,84	9.110,09	9.139,68	9.859,95	10.626,20
M-T4	788,70	914,28	1.047,89	995,47	1.121,05	1.254,65
M-PE-12	3.597,38	4.289,66	5.026,13	4.568,26	5.260,54	5.997,01
M-PE-13	3.597,52	4.289,90	5.026,46	4.568,38	5.260,75	5.997,32
M-PE-14	3.200,93	3.996,93	4.843,75	4.130,50	4.926,51	5.773,32
M-E1001	411,20	474,45	541,75	514,61	577,87	645,16
M-E1002	390,84	457,19	527,78	492,34	558,69	629,27
M-E1003	410,97	474,65	542,40	514,16	577,85	645,60
M-E1004	411,64	479,48	551,65	512,66	580,50	652,67
M-E1005	448,63	510,73	576,79	553,11	615,21	681,27
M-E1006	320,65	390,74	465,31	418,58	488,67	563,24
M-E1007	407,13	471,02	539,00	510,16	574,06	642,04
M-E1008	471,81	535,42	603,09	575,93	639,54	707,21
M-E1009	399,75	464,78	533,97	502,09	567,12	636,31
M-E1010	431,33	491,29	555,07	536,50	596,46	660,24
M-E1011	403,46	467,93	536,51	506,16	570,63	639,21
M-E1012	448,58	516,46	588,67	550,22	618,10	690,31
M-GA50	3.851,88	6.292,96	8.889,84	4.997,25	7.438,32	10.035,20
M-GA45	2.763,53	4.837,50	7.043,86	3.380,43	5.454,41	7.660,77
M-EG-P3	1.300,22	1.580,54	1.878,77	1.664,84	1.945,17	2.243,39
M-EP-P6	1.248,41	1.686,86	2.153,29	1.702,65	2.141,09	2.607,52
M-EP-P7	1.152,25	1.860,53	2.614,01	2.229,73	2.938,01	3.691,49

Anexo 18. Tablas ahorros anuales por reemplazo motores seleccionados de la PPL.

Equipo	Ahorro anual IE2			Ahorro anual IE3		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PH3	\$ 705.518	\$ 875.560	\$ 1.056.455	\$ 821.602	\$ 991.643	\$ 1.172.538
M-PH4	\$ 1.201.155	\$ 1.332.599	\$ 1.472.433	\$ 1.348.379	\$ 1.479.823	\$ 1.619.657
M-E3001	\$ 90.379	\$ 111.088	\$ 133.118	\$ 106.500	\$ 127.208	\$ 149.239
M-E3002	\$ 82.343	\$ 102.543	\$ 124.033	\$ 98.540	\$ 118.741	\$ 140.231
M-E3003	\$ 100.172	\$ 119.305	\$ 139.660	\$ 116.815	\$ 135.949	\$ 156.304
M-E3004	\$ 98.097	\$ 116.059	\$ 135.167	\$ 115.009	\$ 132.971	\$ 152.080
M-E3005	\$ 108.680	\$ 131.451	\$ 155.676	\$ 116.857	\$ 139.628	\$ 163.853
M-E3006	\$ 91.758	\$ 116.679	\$ 143.190	\$ 103.387	\$ 128.307	\$ 154.819
M-E3007	\$ 93.361	\$ 111.938	\$ 131.702	\$ 110.091	\$ 128.669	\$ 148.432
M-E3008	\$ 58.114	\$ 79.554	\$ 102.362	\$ 73.676	\$ 95.116	\$ 117.924
M-PH5	\$ 603.746	\$ 711.189	\$ 825.490	\$ 753.147	\$ 860.590	\$ 974.892
M-E7201	\$ 97.778	\$ 119.799	\$ 143.227	\$ 113.557	\$ 135.578	\$ 159.006
M-E7202	\$ 103.374	\$ 118.269	\$ 134.116	\$ 120.911	\$ 135.807	\$ 151.654
M-E7203	\$ 78.782	\$ 99.684	\$ 121.921	\$ 94.732	\$ 115.634	\$ 137.871
M-E7204	\$ 30.811	\$ 38.243	\$ 46.148	\$ 40.598	\$ 48.029	\$ 55.935
M-E7301	\$ 92.178	\$ 110.955	\$ 130.931	\$ 108.850	\$ 127.627	\$ 147.602
M-E7302	\$ 65.099	\$ 89.846	\$ 116.171	\$ 77.071	\$ 101.817	\$ 128.142
M-E7303	\$ 82.834	\$ 100.293	\$ 118.866	\$ 99.754	\$ 117.212	\$ 135.786
M-E7304	\$ 81.492	\$ 99.730	\$ 119.132	\$ 98.216	\$ 116.454	\$ 135.856
M-E7305	\$ 89.346	\$ 106.406	\$ 124.556	\$ 106.400	\$ 123.460	\$ 141.609
M-E7805	\$ 55.145	\$ 65.451	\$ 76.415	\$ 61.075	\$ 71.381	\$ 82.345
M-E7806	\$ 37.533	\$ 47.847	\$ 58.819	\$ 47.686	\$ 58.000	\$ 68.972
M-E7807	\$ 45.942	\$ 55.054	\$ 64.749	\$ 57.240	\$ 66.353	\$ 76.047
M-E7808	\$ 40.341	\$ 49.146	\$ 58.513	\$ 51.728	\$ 60.533	\$ 69.900
M-E7809	\$ 23.707	\$ 30.070	\$ 36.840	\$ 41.864	\$ 48.227	\$ 54.997
M-E7501	\$ 27.687	\$ 33.667	\$ 40.029	\$ 45.080	\$ 51.060	\$ 57.422
M-PE-1	\$ 104.191	\$ 118.575	\$ 133.877	\$ 130.401	\$ 144.785	\$ 160.088
M-PE-2	\$ 102.421	\$ 117.027	\$ 132.565	\$ 128.492	\$ 143.098	\$ 158.636
M-PE-3	\$ 79.003	\$ 96.961	\$ 116.066	\$ 102.156	\$ 120.114	\$ 139.219
M-PE-4	\$ 102.741	\$ 117.379	\$ 132.950	\$ 128.801	\$ 143.439	\$ 159.010
M-E2001	\$ 41.724	\$ 50.416	\$ 59.663	\$ 46.799	\$ 55.491	\$ 64.738
M-E2002	\$ 31.541	\$ 39.437	\$ 47.836	\$ 40.990	\$ 48.885	\$ 57.285
M-E502	\$ 19.467	\$ 23.394	\$ 27.572	\$ 27.392	\$ 31.319	\$ 35.497
M-E503	\$ 56.202	\$ 67.008	\$ 78.503	\$ 62.454	\$ 73.259	\$ 84.755
M-E504	\$ 26.124	\$ 30.882	\$ 35.943	\$ 42.786	\$ 47.544	\$ 52.605
M-E505	\$ 17.797	\$ 21.740	\$ 25.935	\$ 25.588	\$ 29.531	\$ 33.726
M-E506	\$ 19.580	\$ 23.490	\$ 27.650	\$ 27.545	\$ 31.455	\$ 35.614
M-E507	\$ 18.920	\$ 22.448	\$ 26.201	\$ 24.744	\$ 28.272	\$ 32.025
M-E508	\$ 22.336	\$ 25.573	\$ 29.016	\$ 28.530	\$ 31.767	\$ 35.211
M-E801	\$ 27.887	\$ 34.478	\$ 41.490	\$ 45.795	\$ 52.386	\$ 59.398
M-E802	\$ 20.981	\$ 27.614	\$ 34.670	\$ 38.198	\$ 44.830	\$ 51.886
M-E803	\$ 23.653	\$ 30.527	\$ 37.840	\$ 40.401	\$ 47.276	\$ 54.589
M-MH1	\$ 161.626	\$ 180.074	\$ 199.699	\$ 186.336	\$ 204.784	\$ 224.409

Equipo	Ahorro anual IE2			Ahorro anual IE3		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PE-6	\$ 197.737	\$ 244.351	\$ 293.941	\$ 250.708	\$ 297.322	\$ 346.912
M-PE-7	\$ 342.928	\$ 397.190	\$ 454.915	\$ 419.244	\$ 473.506	\$ 531.232
M-PE-9	\$ 338.023	\$ 397.916	\$ 461.632	\$ 415.180	\$ 475.073	\$ 538.789
M-PE-10	\$ 411.653	\$ 470.954	\$ 534.041	\$ 489.730	\$ 549.031	\$ 612.118
M-V1	\$ 194.645	\$ 215.645	\$ 237.984	\$ 219.162	\$ 240.161	\$ 262.500
M-SM2	\$ 178.474	\$ 200.619	\$ 224.177	\$ 206.473	\$ 228.618	\$ 252.177
M-SM3	\$ 191.168	\$ 219.779	\$ 250.216	\$ 246.433	\$ 275.044	\$ 305.481
M-SM4	\$ 196.717	\$ 225.609	\$ 256.345	\$ 251.947	\$ 280.839	\$ 311.575
M-SM1	\$ 197.049	\$ 225.693	\$ 256.165	\$ 252.362	\$ 281.006	\$ 311.478
M-PF-1	\$ 271.472	\$ 311.347	\$ 353.767	\$ 342.047	\$ 381.922	\$ 424.342
M-PF-2	\$ 176.843	\$ 201.107	\$ 226.920	\$ 222.347	\$ 246.611	\$ 272.424
M-VPF-2	\$ 13.412	\$ 16.337	\$ 19.449	\$ 22.567	\$ 25.492	\$ 28.604
M-PF-3	\$ 167.494	\$ 194.570	\$ 223.374	\$ 212.134	\$ 239.210	\$ 268.014
M-VPF-3	\$ 9.854	\$ 14.093	\$ 18.603	\$ 15.698	\$ 19.937	\$ 24.446
M-PF-4	\$ 555.754	\$ 612.011	\$ 671.859	\$ 648.533	\$ 704.790	\$ 764.638
M-VPF-4	\$ 25.787	\$ 28.309	\$ 30.992	\$ 31.616	\$ 34.138	\$ 36.821
M-PF-5	\$ 325.095	\$ 375.603	\$ 429.335	\$ 415.198	\$ 465.706	\$ 519.438
M-VPF-5	\$ 54.315	\$ 59.211	\$ 64.420	\$ 65.064	\$ 69.960	\$ 75.169
M-PF-6	\$ 303.058	\$ 353.937	\$ 408.064	\$ 390.413	\$ 441.293	\$ 495.420
M-VPF-6	\$ 53.967	\$ 59.389	\$ 65.157	\$ 65.846	\$ 71.268	\$ 77.036
M-DA	\$ 636.392	\$ 696.194	\$ 759.813	\$ 631.051	\$ 690.853	\$ 754.473
M-V2	\$ 153.404	\$ 187.503	\$ 223.779	\$ 196.443	\$ 230.542	\$ 266.818
M-V3	\$ 195.259	\$ 223.461	\$ 253.463	\$ 226.151	\$ 254.353	\$ 284.355
M-T1	\$ 691.662	\$ 757.010	\$ 826.529	\$ 829.213	\$ 894.561	\$ 964.080
M-T4	\$ 71.556	\$ 82.950	\$ 95.071	\$ 90.315	\$ 101.709	\$ 113.831
M-PE-12	\$ 305.669	\$ 364.492	\$ 427.069	\$ 388.165	\$ 446.988	\$ 509.565
M-PE-13	\$ 305.681	\$ 364.512	\$ 427.098	\$ 388.174	\$ 447.005	\$ 509.591
M-PE-14	\$ 271.983	\$ 339.619	\$ 411.573	\$ 350.968	\$ 418.605	\$ 490.558
M-E1001	\$ 42.041	\$ 48.508	\$ 55.388	\$ 52.614	\$ 59.081	\$ 65.961
M-E1002	\$ 39.960	\$ 46.744	\$ 53.960	\$ 50.337	\$ 57.120	\$ 64.337
M-E1003	\$ 42.017	\$ 48.529	\$ 55.456	\$ 52.568	\$ 59.080	\$ 66.007
M-E1004	\$ 42.086	\$ 49.022	\$ 56.401	\$ 52.415	\$ 59.351	\$ 66.729
M-E1005	\$ 45.868	\$ 52.217	\$ 58.971	\$ 56.550	\$ 62.899	\$ 69.653
M-E1006	\$ 32.784	\$ 39.950	\$ 47.574	\$ 42.795	\$ 49.962	\$ 57.586
M-E1007	\$ 41.625	\$ 48.158	\$ 55.107	\$ 52.159	\$ 58.692	\$ 65.642
M-E1008	\$ 48.238	\$ 54.742	\$ 61.660	\$ 58.884	\$ 65.387	\$ 72.306
M-E1009	\$ 40.870	\$ 47.519	\$ 54.593	\$ 51.334	\$ 57.983	\$ 65.057
M-E1010	\$ 44.100	\$ 50.230	\$ 56.751	\$ 54.852	\$ 60.982	\$ 67.503
M-E1011	\$ 41.250	\$ 47.842	\$ 54.853	\$ 51.750	\$ 58.341	\$ 65.353
M-E1012	\$ 45.863	\$ 52.803	\$ 60.186	\$ 56.254	\$ 63.194	\$ 70.577
M-GA50	\$ 334.686	\$ 546.788	\$ 772.428	\$ 434.205	\$ 646.307	\$ 871.947
M-GA45	\$ 240.119	\$ 420.325	\$ 612.033	\$ 293.722	\$ 473.927	\$ 665.635
M-EG-P3	\$ 112.974	\$ 137.332	\$ 163.244	\$ 144.656	\$ 169.014	\$ 194.926
M-EP-P6	\$ 108.473	\$ 146.569	\$ 187.097	\$ 147.941	\$ 186.037	\$ 226.565
M-EP-P7	\$ 100.118	\$ 161.659	\$ 227.128	\$ 193.739	\$ 255.280	\$ 320.749

Anexo 19. Tablas ahorros anuales por mejoras en prácticas operacionales motores PPL.

5 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E3001	13,64	6.549	6.276	273	\$ 28.172
E3002	13,31	6.388	6.122	266	\$ 27.481
E3003	12,61	6.051	5.799	252	\$ 26.030
E3004	11,83	5.680	5.444	237	\$ 24.436
E3005	15,00	7.201	6.901	300	\$ 30.978
E3006	16,42	7.881	7.553	328	\$ 33.902
E3007	12,24	5.875	5.630	245	\$ 25.273
E3008	14,13	6.780	6.498	283	\$ 29.166
E7201	14,51	6.964	6.674	290	\$ 29.958
E7202	9,81	4.711	4.515	196	\$ 20.265
E7203	13,77	6.610	6.335	275	\$ 28.436
E7204	4,90	2.350	2.252	98	\$ 10.110
E7301	12,37	5.938	5.691	247	\$ 25.545
E7302	16,30	7.826	7.500	326	\$ 33.665
E7303	11,50	5.521	5.291	230	\$ 23.751
E7304	12,02	5.768	5.527	240	\$ 24.811
E7305	11,24	5.395	5.170	225	\$ 23.209
E7805	6,79	3.259	3.123	136	\$ 14.021
E7806	6,80	3.262	3.126	136	\$ 14.031
E7807	6,00	2.882	2.762	120	\$ 12.397
E7808	5,80	2.784	2.668	116	\$ 11.978
E7809	4,19	2.012	1.929	84	\$ 8.657
E7501	3,94	1.891	1.812	79	\$ 8.135
E2001	5,73	2.750	2.636	115	\$ 11.831

5 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E2002	5,20	2.497	2.393	104	\$ 10.741
E502	2,59	1.242	1.190	52	\$ 5.343
E503	7,12	3.417	3.275	142	\$ 14.700
E504	3,13	1.505	1.442	63	\$ 6.472
E505	2,60	1.247	1.195	52	\$ 5.364
E506	2,58	1.237	1.185	52	\$ 5.319
E507	2,32	1.116	1.069	46	\$ 4.800
E508	2,13	1.024	981	43	\$ 4.404
E801	4,34	2.084	1.998	87	\$ 8.967
E802	4,37	2.098	2.010	87	\$ 9.023
E803	4,53	2.174	2.083	91	\$ 9.352
E1001	4,26	2.045	1.960	85	\$ 8.798
E1002	4,47	2.145	2.056	89	\$ 9.229
E1003	4,29	2.059	1.973	86	\$ 8.858
E1004	4,57	2.193	2.102	91	\$ 9.436
E1005	4,18	2.008	1.924	84	\$ 8.637
E1006	4,72	2.266	2.172	94	\$ 9.749
E1007	4,30	2.066	1.980	86	\$ 8.887
E1008	4,28	2.057	1.971	86	\$ 8.848
E1009	4,38	2.103	2.015	88	\$ 9.046
E1010	4,04	1.939	1.858	81	\$ 8.340
E1011	4,34	2.084	1.998	87	\$ 8.967
E1012	4,57	2.195	2.103	91	\$ 9.441

7 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E3001	13,64	6.549	6.167	382	\$ 39.603
E3002	13,31	6.388	6.016	373	\$ 38.632
E3003	12,61	6.051	5.698	353	\$ 36.592
E3004	11,83	5.680	5.349	331	\$ 34.351
E3005	15,00	7.201	6.781	420	\$ 43.548
E3006	16,42	7.881	7.421	460	\$ 47.659
E3007	12,24	5.875	5.532	343	\$ 35.528
E3008	14,13	6.780	6.385	396	\$ 41.001
E7201	14,51	6.964	6.558	406	\$ 42.115
E7202	9,81	4.711	4.436	275	\$ 28.487
E7203	13,77	6.610	6.225	386	\$ 39.975
E7204	4,90	2.350	2.213	137	\$ 14.212
E7301	12,37	5.938	5.592	346	\$ 35.910
E7302	16,30	7.826	7.369	457	\$ 47.325
E7303	11,50	5.521	5.199	322	\$ 33.389
E7304	12,02	5.768	5.431	336	\$ 34.879
E7305	11,24	5.395	5.081	315	\$ 32.626
E7805	6,79	3.259	3.069	190	\$ 19.710
E7806	6,80	3.262	3.071	190	\$ 19.725
E7807	6,00	2.882	2.714	168	\$ 17.428
E7808	5,80	2.784	2.622	162	\$ 16.839
E7809	4,19	2.012	1.895	117	\$ 12.170
E7501	3,94	1.891	1.781	110	\$ 11.436
E2001	5,73	2.750	2.590	160	\$ 16.632

7 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E2002	5,20	2.497	2.351	146	\$ 15.099
E502	2,59	1.242	1.170	72	\$ 7.511
E503	7,12	3.417	3.218	199	\$ 20.665
E504	3,13	1.505	1.417	88	\$ 9.099
E505	2,60	1.247	1.174	73	\$ 7.541
E506	2,58	1.237	1.164	72	\$ 7.478
E507	2,32	1.116	1.051	65	\$ 6.747
E508	2,13	1.024	964	60	\$ 6.191
E801	4,34	2.084	1.963	122	\$ 12.605
E802	4,37	2.098	1.975	122	\$ 12.684
E803	4,53	2.174	2.047	127	\$ 13.147
E1001	4,26	2.045	1.926	119	\$ 12.368
E1002	4,47	2.145	2.020	125	\$ 12.973
E1003	4,29	2.059	1.939	120	\$ 12.453
E1004	4,57	2.193	2.065	128	\$ 13.264
E1005	4,18	2.008	1.891	117	\$ 12.142
E1006	4,72	2.266	2.134	132	\$ 13.705
E1007	4,30	2.066	1.945	121	\$ 12.494
E1008	4,28	2.057	1.937	120	\$ 12.438
E1009	4,38	2.103	1.980	123	\$ 12.716
E1010	4,04	1.939	1.826	113	\$ 11.723
E1011	4,34	2.084	1.963	122	\$ 12.605
E1012	4,57	2.195	2.067	128	\$ 13.272

10 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E3001	13,64	6.549	6.003	546	\$ 56.940
E3002	13,31	6.388	5.856	532	\$ 55.544
E3003	12,61	6.051	5.547	504	\$ 52.610
E3004	11,83	5.680	5.207	473	\$ 49.389
E3005	15,00	7.201	6.601	600	\$ 62.612
E3006	16,42	7.881	7.224	657	\$ 68.522
E3007	12,24	5.875	5.386	490	\$ 51.081
E3008	14,13	6.780	6.215	565	\$ 58.950
E7201	14,51	6.964	6.384	580	\$ 60.551
E7202	9,81	4.711	4.318	393	\$ 40.958
E7203	13,77	6.610	6.060	551	\$ 57.474
E7204	4,90	2.350	2.154	196	\$ 20.433
E7301	12,37	5.938	5.443	495	\$ 51.630
E7302	16,30	7.826	7.174	652	\$ 68.042
E7303	11,50	5.521	5.061	460	\$ 48.005
E7304	12,02	5.768	5.287	481	\$ 50.147
E7305	11,24	5.395	4.946	450	\$ 46.909
E7805	6,79	3.259	2.988	272	\$ 28.338
E7806	6,80	3.262	2.990	272	\$ 28.359
E7807	6,00	2.882	2.642	240	\$ 25.057
E7808	5,80	2.784	2.552	232	\$ 24.210
E7809	4,19	2.012	1.845	168	\$ 17.497
E7501	3,94	1.891	1.734	158	\$ 16.443
E2001	5,73	2.750	2.521	229	\$ 23.913

10 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E2002	5,20	2.497	2.289	208	\$ 21.709
E502	2,59	1.242	1.138	103	\$ 10.798
E503	7,12	3.417	3.132	285	\$ 29.711
E504	3,13	1.505	1.379	125	\$ 13.082
E505	2,60	1.247	1.143	104	\$ 10.842
E506	2,58	1.237	1.134	103	\$ 10.751
E507	2,32	1.116	1.023	93	\$ 9.701
E508	2,13	1.024	938	85	\$ 8.900
E801	4,34	2.084	1.911	174	\$ 18.123
E802	4,37	2.098	1.923	175	\$ 18.237
E803	4,53	2.174	1.993	181	\$ 18.902
E1001	4,26	2.045	1.875	170	\$ 17.783
E1002	4,47	2.145	1.967	179	\$ 18.652
E1003	4,29	2.059	1.888	172	\$ 17.904
E1004	4,57	2.193	2.011	183	\$ 19.071
E1005	4,18	2.008	1.840	167	\$ 17.457
E1006	4,72	2.266	2.077	189	\$ 19.705
E1007	4,30	2.066	1.894	172	\$ 17.963
E1008	4,28	2.057	1.885	171	\$ 17.882
E1009	4,38	2.103	1.928	175	\$ 18.283
E1010	4,04	1.939	1.777	162	\$ 16.856
E1011	4,34	2.084	1.911	174	\$ 18.123
E1012	4,57	2.195	2.012	183	\$ 19.082

Anexo 20. Tablas para cálculo de coeficiente de utilización luminarias en uso PPL.

Reflectancias Luminaria de 160 (W)										
Cavidad del techo	80			30			10			0
Paredes	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCL	Coeficiente de Utilización para una Reflectancia Efectiva en Cavidad de Piso (rcp) de 20 %									
0	1,05	1,05	1,05	0,94	0,94	0,94	0,9	0,9	0,9	0,9
1	0,91	0,87	0,83	0,82	0,79	0,77	0,79	0,77	0,79	0,77
2	0,78	0,78	0,76	0,69	0,66	0,63	0,64	0,62	0,6	0,59
3	0,68	0,69	0,65	0,62	0,58	0,55	0,58	0,55	0,53	0,51
4	0,59	0,6	0,56	0,56	0,52	0,48	0,53	0,5	0,47	0,45
5	0,53	0,53	0,49	0,51	0,46	0,42	0,48	0,44	0,41	0,4
6	0,47	0,47	0,43	0,46	0,41	0,37	0,44	0,4	0,37	0,35
7	0,43	0,42	0,38	0,41	0,36	0,32	0,39	0,36	0,32	0,31
8	0,39	0,33	0,29	0,38	0,32	0,28	0,36	0,32	0,28	0,27
9	0,35	0,3	0,26	0,34	0,29	0,25	0,33	0,28	0,25	0,24
10	0,33	0,27	0,23	0,31	0,29	0,23	0,3	0,25	0,22	0,21

Reflectancias Luminaria de 40 (W)										
Cavidad del techo	80			30			10			0
Paredes	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCL	Coeficiente de Utilización para una Reflectancia Efectiva en Cavidad de Piso (rcp) de 20 %									
0	1,03	1,03	1,03	0,92	0,92	0,92	0,88	0,88	0,88	0,87
1	0,85	0,80	0,75	0,75	0,72	0,69	0,72	0,70	0,67	0,65
2	0,72	0,65	0,58	0,64	0,59	0,55	0,61	0,57	0,53	0,51
3	0,62	0,53	0,47	0,55	0,49	0,45	0,53	0,48	0,44	0,42
4	0,54	0,45	0,38	0,48	0,42	0,37	0,46	0,41	0,37	0,34
5	0,48	0,39	0,32	0,43	0,37	0,32	0,41	0,36	0,31	0,29
6	0,43	0,34	0,28	0,39	0,32	0,27	0,37	0,31	0,27	0,25
7	0,39	0,30	0,24	0,35	0,29	0,24	0,34	0,28	0,24	0,22
8	0,35	0,27	0,21	0,32	0,26	0,21	0,31	0,25	0,21	0,19
9	0,32	0,24	0,19	0,30	0,23	0,19	0,29	0,23	0,19	0,17
10	0,30	0,22	0,17	0,27	0,21	0,17	0,27	0,21	0,17	0,15

Reflectancias Luminaria de 20 (W)										
Cavidad del techo	80			30			10			0
Paredes	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCL	Coeficiente de Utilización para una Reflectancia Efectiva en Cavidad de Piso (rcp) de 20 %									
0	0,79	0,79	0,79	0,71	0,71	0,71	0,68	0,68	0,68	0,67
1	0,65	0,61	0,58	0,58	0,55	0,53	0,55	0,53	0,52	0,50
2	0,56	0,50	0,45	0,49	0,46	0,43	0,47	0,44	0,42	0,40
3	0,48	0,42	0,37	0,43	0,39	0,35	0,41	0,38	0,34	0,33
4	0,43	0,36	0,31	0,38	0,34	0,30	0,37	0,33	0,29	0,28
5	0,38	0,31	0,26	0,34	0,30	0,26	0,33	0,29	0,25	0,24
6	0,34	0,28	0,23	0,31	0,26	0,23	0,30	0,26	0,22	0,21
7	0,31	0,25	0,20	0,28	0,24	0,20	0,28	0,23	0,20	0,19
8	0,28	0,22	0,18	0,26	0,22	0,18	0,25	0,21	0,18	0,17
9	0,26	0,20	0,16	0,24	0,20	0,16	0,24	0,19	0,16	0,15
10	0,24	0,19	0,15	0,23	0,18	0,15	0,22	0,18	0,15	0,14

Anexo 21. Tablas para cálculo de coeficiente de utilización luminarias y lámparas LEDs.

Reflectancias Luminaria de 36 (W)										
Cavidad del techo	80			30			10			0
Paredes	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCL	Coeficiente de Utilización para una Reflectancia Efectiva en Cavidad de Piso (rcp) de 20 %									
0	4,04	4,04	4,04	3,6	3,6	3,6	3,45	3,45	3,45	3,38
1	3,5	3,34	3,2	3,13	3,03	2,95	3	2,93	2,85	2,78
2	3,04	0,78	0,76	0,69	0,66	0,63	0,64	0,62	0,6	0,59
3	2,66	0,69	0,65	0,62	0,58	0,55	0,58	0,55	0,53	0,51
4	2,36	0,6	0,56	0,56	0,52	0,48	0,53	0,5	0,47	0,45
5	2,1	0,53	0,49	0,51	0,46	0,42	0,48	0,44	0,41	0,4
6	1,89	0,47	0,43	0,46	0,41	0,37	0,44	0,4	0,37	0,35
7	1,71	0,42	0,38	0,41	0,36	0,32	0,39	0,36	0,32	0,31
8	1,56	0,33	0,29	0,38	0,32	0,28	0,36	0,32	0,28	0,27
9	1,43	0,3	0,26	0,34	0,29	0,25	0,33	0,28	0,25	0,24
10	1,32	0,27	0,23	0,31	0,29	0,23	0,3	0,25	0,22	0,21

Reflectancias Luminaria de 27 (W)										
Cavidad del techo	80			30			10			0
Paredes	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCL	Coeficiente de Utilización para una Reflectancia Efectiva en Cavidad de Piso (rcp) de 20 %									
0	1,91	1,91	1,91	1,68	1,68	1,68	1,60	1,60	1,60	1,56
1	1,75	1,70	1,66	1,56	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45	1,42
2	1,59	1,51	1,45	1,44	1,39	1,35	1,38	1,35	1,31	1,28
3	1,45	1,36	1,28	1,33	1,26	1,21	1,28	1,23	1,18	1,15
4	1,33	1,22	1,14	1,22	1,15	1,09	1,18	1,12	1,07	1,04
5	1,22	1,11	1,02	1,13	1,05	0,99	1,10	1,03	0,97	0,94
6	1,12	1,01	0,92	1,04	0,96	0,90	1,02	0,94	0,89	0,86
7	1,04	0,92	0,84	0,97	0,88	0,82	0,94	0,87	0,81	0,78
8	0,96	0,85	0,77	0,90	0,81	0,75	0,88	0,80	0,74	0,72
9	0,89	0,78	0,70	0,84	0,75	0,69	0,82	0,74	0,68	0,66
10	0,83	0,72	0,65	0,79	0,70	0,64	0,77	0,69	0,63	0,61

Reflectancias Luminaria de 18 (W)										
Cavidad del techo	80			30			10			0
Paredes	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
RCL	Coeficiente de Utilización para una Reflectancia Efectiva en Cavidad de Piso (rcp) de 20 %									
0	1,52	1,52	1,52	1,36	1,36	1,36	1,30	1,30	1,30	1,28
1	1,39	1,36	1,32	1,27	1,24	1,22	1,22	1,20	1,19	1,16
2	1,27	1,21	1,16	1,17	1,13	1,09	1,13	1,10	1,07	1,05
3	1,16	1,08	1,02	1,07	1,02	0,98	1,04	1,00	0,96	0,94
4	1,06	0,97	0,90	0,98	0,93	0,88	0,96	0,91	0,87	0,84
5	0,97	0,87	0,81	0,90	0,84	0,79	0,88	0,83	0,78	0,76
6	0,88	0,79	0,72	0,83	0,76	0,71	0,81	0,75	0,71	0,68
7	0,81	0,72	0,65	0,77	0,70	0,64	0,75	0,69	0,64	0,62
8	0,75	0,66	0,59	0,71	0,64	0,59	0,70	0,63	0,58	0,56
9	0,69	0,60	0,54	0,66	0,59	0,53	0,65	0,58	0,53	0,51
10	0,64	0,55	0,49	0,61	0,54	0,49	0,60	0,54	0,49	0,47

Anexo 22. Tablas valor adquisición motores de eficiencia mejorada y alta eficiencia.

Equipo	Valor adquisición	Valor adquisición
	IE2	IE3
M-PH3	\$ 3.946.679	\$ 4.341.347
M-PH4	\$ 3.946.679	\$ 4.341.347
M-E3001	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E3002	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E3003	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E3004	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E3005	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E3006	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E3007	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E3008	\$ 695.102	\$ 764.612
M-PH5	\$ 3.946.679	\$ 4.341.347
M-E7201	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E7202	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E7203	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E7204	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E7301	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E7302	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E7303	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E7304	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E7305	\$ 695.102	\$ 764.612
M-E7805	\$ 649.133	\$ 714.046
M-E7806	\$ 649.133	\$ 714.046
M-E7807	\$ 649.133	\$ 714.046
M-E7808	\$ 649.133	\$ 714.046
M-E7809	\$ 476.716	\$ 524.388
M-E7501	\$ 476.716	\$ 524.388
M-PE-1	\$ 279.994	\$ 307.993
M-PE-2	\$ 279.994	\$ 307.993
M-PE-3	\$ 279.994	\$ 307.993
M-PE-4	\$ 279.994	\$ 307.993
M-E2001	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E2002	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E502	\$ 384.453	\$ 422.899
M-E503	\$ 649.133	\$ 714.046
M-E504	\$ 279.875	\$ 307.862
M-E505	\$ 384.453	\$ 422.899
M-E506	\$ 384.453	\$ 422.899
M-E507	\$ 272.248	\$ 299.473
M-E508	\$ 272.248	\$ 299.473
M-E801	\$ 476.716	\$ 524.388
M-E802	\$ 476.716	\$ 524.388
M-E803	\$ 476.716	\$ 524.388
M-MH1	\$ 695.102	\$ 764.612

Equipo	Valor adquisición IE2	Valor adquisición IE3
M-PE-6	\$ 636.669	\$ 700.336
M-PE-7	\$ 1.113.208	\$ 1.224.529
M-PE-9	\$ 1.113.208	\$ 1.224.529
M-PE-10	\$ 1.113.208	\$ 1.224.529
M-V1	\$ 695.102	\$ 764.612
M-SM2	\$ 695.102	\$ 764.612
M-SM3	\$ 1.217.882	\$ 1.339.670
M-SM4	\$ 1.217.882	\$ 1.339.670
M-SM1	\$ 1.565.471	\$ 1.722.018
M-PF-1	\$ 272.248	\$ 299.473
M-PF-2	\$ 636.669	\$ 700.336
M-VPF-2	\$ 476.716	\$ 524.388
M-PF-3	\$ 636.669	\$ 700.336
M-VPF-3	\$ 476.716	\$ 524.388
M-PF-4	\$ 1.490.360	\$ 1.639.396
M-VPF-4	\$ 415.197	\$ 456.717
M-PF-5	\$ 1.217.882	\$ 1.339.670
M-VPF-5	\$ 1.565.471	\$ 1.722.018
M-PF-6	\$ 1.217.882	\$ 1.339.670
M-VPF-6	\$ 1.565.471	\$ 1.722.018
M-DA	\$ 1.490.392	\$ 1.639.431
M-V2	\$ 1.113.208	\$ 1.224.529
M-V3	\$ 695.102	\$ 764.612
M-T1	\$ 3.360.828	\$ 3.696.911
M-T4	\$ 369.081	\$ 405.989
M-PE-12	\$ 1.113.208	\$ 1.224.529
M-PE-13	\$ 1.113.208	\$ 1.224.529
M-PE-14	\$ 1.113.208	\$ 1.224.529
M-E1001	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1002	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1003	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1004	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1005	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1006	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1007	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1008	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1009	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1010	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1011	\$ 369.081	\$ 405.989
M-E1012	\$ 369.081	\$ 405.989
M-GA50	\$ 2.881.188	\$ 3.169.306
M-GA45	\$ 2.527.598	\$ 2.780.358
M-EG-P3	\$ 415.197	\$ 456.717
M-EP-P6	\$ 593.580	\$ 652.938
M-EP-P7	\$ 1.217.882	\$ 1.339.670

Anexo 23. Tablas periodo de recuperación simple de las inversiones para alternativas de reemplazo motores PPL.

Equipo	PRS IE2 (años)			PRS IE3 (años)		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PH3	5,59	4,51	3,74	5,28	4,38	3,70
M-PH4	3,29	2,96	2,68	3,22	2,93	2,68
M-E3001	7,69	6,26	5,22	7,18	6,01	5,12
M-E3002	8,44	6,78	5,60	7,76	6,44	5,45
M-E3003	6,94	5,83	4,98	6,55	5,62	4,89
M-E3004	7,09	5,99	5,14	6,65	5,75	5,03
M-E3005	6,40	5,29	4,47	6,54	5,48	4,67
M-E3006	7,58	5,96	4,85	7,40	5,96	4,94
M-E3007	7,45	6,21	5,28	6,95	5,94	5,15
M-E3008	11,96	8,74	6,79	10,38	8,04	6,48
M-PH5	6,54	5,55	4,78	5,76	5,04	4,45
M-E7201	7,11	5,80	4,85	6,73	5,64	4,81
M-E7202	6,72	5,88	5,18	6,32	5,63	5,04
M-E7203	8,82	6,97	5,70	8,07	6,61	5,55
M-E7204	11,98	9,65	8,00	10,00	8,45	7,26
M-E7301	7,54	6,26	5,31	7,02	5,99	5,18
M-E7302	10,68	7,74	5,98	9,92	7,51	5,97
M-E7303	8,39	6,93	5,85	7,66	6,52	5,63
M-E7304	8,53	6,97	5,83	7,78	6,57	5,63
M-E7305	7,78	6,53	5,58	7,19	6,19	5,40
M-E7805	11,77	9,92	8,49	11,69	10,00	8,67
M-E7806	17,30	13,57	11,04	14,97	12,31	10,35
M-E7807	14,13	11,79	10,03	12,47	10,76	9,39
M-E7808	16,09	13,21	11,09	13,80	11,80	10,22
M-E7809	20,11	15,85	12,94	12,53	10,87	9,53
M-E7501	17,22	14,16	11,91	11,63	10,27	9,13
M-PE-1	2,69	2,36	2,09	2,36	2,13	1,92
M-PE-2	2,73	2,39	2,11	2,40	2,15	1,94
M-PE-3	3,54	2,89	2,41	3,01	2,56	2,21
M-PE-4	2,73	2,39	2,11	2,39	2,15	1,94
M-E2001	8,85	7,32	6,19	8,68	7,32	6,27
M-E2002	11,70	9,36	7,72	9,90	8,30	7,09
M-E502	19,75	16,43	13,94	15,44	13,50	11,91
M-E503	11,55	9,69	8,27	11,43	9,75	8,42
M-E504	10,71	9,06	7,79	7,20	6,48	5,85
M-E505	21,60	17,68	14,82	16,53	14,32	12,54
M-E506	19,64	16,37	13,90	15,35	13,44	11,87
M-E507	14,39	12,13	10,39	12,10	10,59	9,35
M-E508	12,19	10,65	9,38	10,50	9,43	8,51
M-E801	17,09	13,83	11,49	11,45	10,01	8,83
M-E802	22,72	17,26	13,75	13,73	11,70	10,11
M-E803	20,15	15,62	12,60	12,98	11,09	9,61
M-MH1	4,30	3,86	3,48	4,10	3,73	3,41

Equipo	PRS IE2 (años)			PRS IE1 (años)		
	FC4-0	FC4-1	FC4-2	FC4-0	FC4-1	FC4-2
M-PE-6	3,22	2,61	2,17	2,79	2,36	2,02
M-PE-7	3,25	2,80	2,45	2,92	2,59	2,31
M-PE-9	3,29	2,80	2,41	2,95	2,58	2,27
M-PE-10	2,70	2,36	2,08	2,50	2,23	2,00
M-V1	3,57	3,22	2,92	3,49	3,18	2,91
M-SM2	3,89	3,46	3,10	3,70	3,34	3,03
M-SM3	6,37	5,54	4,87	5,44	4,87	4,39
M-SM4	6,19	5,40	4,75	5,32	4,77	4,30
M-SM1	7,94	6,94	6,11	6,82	6,13	5,53
M-PF-1	1,00	0,87	0,77	0,88	0,78	0,71
M-PF-2	3,60	3,17	2,81	3,15	2,84	2,57
M-VPF-2	35,54	29,18	24,51	23,24	20,57	18,33
M-PF-3	3,80	3,27	2,85	3,30	2,93	2,61
M-VPF-3	48,38	33,83	25,63	33,40	26,30	21,45
M-PF-4	2,68	2,44	2,22	2,53	2,33	2,14
M-VPF-4	16,10	14,67	13,40	14,45	13,38	12,40
M-PF-5	3,75	3,24	2,84	3,23	2,88	2,58
M-VPF-5	28,82	26,44	24,30	26,47	24,61	22,91
M-PF-6	4,02	3,44	2,98	3,43	3,04	2,70
M-VPF-6	29,01	26,36	24,03	26,15	24,16	22,35
M-DA	2,34	2,14	1,96	2,60	2,37	2,17
M-V2	7,26	5,94	4,97	6,23	5,31	4,59
M-V3	3,56	3,11	2,74	3,38	3,01	2,69
M-T1	4,86	4,44	4,07	4,46	4,13	3,83
M-T4	5,16	4,45	3,88	4,50	3,99	3,57
M-PE-12	3,64	3,05	2,61	3,15	2,74	2,40
M-PE-13	3,64	3,05	2,61	3,15	2,74	2,40
M-PE-14	4,09	3,28	2,70	3,49	2,93	2,50
M-E1001	8,78	7,61	6,66	7,72	6,87	6,15
M-E1002	9,24	7,90	6,84	8,07	7,11	6,31
M-E1003	8,78	7,61	6,66	7,72	6,87	6,15
M-E1004	8,77	7,53	6,54	7,75	6,84	6,08
M-E1005	8,05	7,07	6,26	7,18	6,45	5,83
M-E1006	11,26	9,24	7,76	9,49	8,13	7,05
M-E1007	8,87	7,66	6,70	7,78	6,92	6,18
M-E1008	7,65	6,74	5,99	6,89	6,21	5,61
M-E1009	9,03	7,77	6,76	7,91	7,00	6,24
M-E1010	8,37	7,35	6,50	7,40	6,66	6,01
M-E1011	8,95	7,71	6,73	7,85	6,96	6,21
M-E1012	8,05	6,99	6,13	7,22	6,42	5,75
M-GA50	8,61	5,27	3,73	7,30	4,90	3,63
M-GA45	10,53	6,01	4,13	9,47	5,87	4,18
M-EG-P3	3,68	3,02	2,54	3,16	2,70	2,34
M-EP-P6	5,47	4,05	3,17	4,41	3,51	2,88
M-EP-P7	12,16	7,53	5,36	6,91	5,25	4,18

Anexo 24. Tablas ahorros anuales conjunto de motores seleccionados para reemplazo

Equipo	PRS Años FC4-0	Ahorro anual FC4-0
M-PF-1	0,88	\$ 342.047
M-PE-1	2,36	\$ 130.401
M-PE-4	2,39	\$ 128.801
M-PE-2	2,40	\$ 128.492
M-PE-10	2,50	\$ 489.730
M-PF-4	2,53	\$ 648.533
M-DA	2,60	\$ 631.051
M-PE-6	2,79	\$ 250.708
M-PE-7	2,92	\$ 419.244
M-PE-9	2,95	\$ 415.180
M-PE-3	3,01	\$ 102.156
M-PF-2	3,15	\$ 222.347
M-PE-13	3,15	\$ 388.174
M-PE-12	3,15	\$ 388.165
M-EG-P3	3,16	\$ 144.656
M-PH4	3,22	\$ 1.348.379
M-PF-5	3,23	\$ 415.198
M-PF-3	3,30	\$ 212.134
M-V3	3,38	\$ 226.151
M-PF-6	3,43	\$ 390.413
M-V1	3,49	\$ 219.162
M-PE-14	3,49	\$ 350.968
M-SM2	3,70	\$ 206.473
M-MH1	4,10	\$ 186.336
M-EP-P6	4,41	\$ 147.941
M-T1	4,46	\$ 829.213
M-T4	4,50	\$ 90.315

Equipo	PRS Años FC4-1	Ahorro anual FC4-1
M-PF-1	0,78	\$ 381.922
M-PE-1	2,13	\$ 144.785
M-PE-4	2,15	\$ 143.439
M-PE-2	2,15	\$ 143.098
M-PE-10	2,23	\$ 549.031
M-PF-4	2,33	\$ 704.790
M-PE-6	2,36	\$ 297.322
M-DA	2,37	\$ 690.853
M-PE-3	2,56	\$ 120.114
M-PE-9	2,58	\$ 475.073
M-PE-7	2,59	\$ 473.506
M-EG-P3	2,70	\$ 169.014
M-PE-13	2,74	\$ 447.005
M-PE-12	2,74	\$ 446.988
M-PF-2	2,84	\$ 246.611
M-PF-5	2,88	\$ 465.706
M-PE-14	2,93	\$ 418.605
M-PF-3	2,93	\$ 239.210
M-PH4	2,93	\$ 1.479.823
M-V3	3,01	\$ 254.353
M-PF-6	3,04	\$ 441.293
M-V1	3,18	\$ 240.161
M-SM2	3,34	\$ 228.618
M-EP-P6	3,51	\$ 186.037
M-MH1	3,73	\$ 204.784
M-T4	3,99	\$ 101.709
M-T1	4,13	\$ 894.561
M-PH3	4,38	\$ 991.643
M-SM4	4,77	\$ 280.839
M-SM3	4,87	\$ 275.044
M-GA50	4,90	\$ 646.307

Equipo	PRS Años FC4-2	Ahorro anual FC4-2
M-PF-1	0,71	\$ 424.342
M-PE-1	1,92	\$ 160.088
M-PE-4	1,94	\$ 159.010
M-PE-2	1,94	\$ 158.636
M-PE-10	2,00	\$ 612.118
M-PE-6	2,02	\$ 346.912
M-PF-4	2,14	\$ 764.638
M-DA	2,17	\$ 754.473
M-PE-3	2,21	\$ 139.219
M-PE-9	2,27	\$ 538.789
M-PE-7	2,31	\$ 531.232
M-EG-P3	2,34	\$ 194.926
M-PE-13	2,40	\$ 509.591
M-PE-12	2,40	\$ 509.565
M-PE-14	2,50	\$ 490.558
M-PF-2	2,57	\$ 272.424
M-PF-5	2,58	\$ 519.438
M-PF-3	2,61	\$ 268.014
M-PH4	2,68	\$ 1.619.657
M-V3	2,69	\$ 284.355
M-PF-6	2,70	\$ 495.420
M-EP-P6	2,88	\$ 226.565
M-V1	2,91	\$ 262.500
M-SM2	3,03	\$ 252.177
M-MH1	3,41	\$ 224.409
M-T4	3,57	\$ 113.831
M-GA50	3,63	\$ 871.947
M-PH3	3,70	\$ 1.172.538
M-T1	3,83	\$ 964.080
M-EP-P7	4,18	\$ 320.749
M-GA45	4,18	\$ 665.635
M-SM4	4,30	\$ 311.575
M-SM3	4,39	\$ 305.481
M-PH5	4,45	\$ 974.892
M-V2	4,59	\$ 266.818
M-E3005	4,67	\$ 163.853
M-E7201	4,81	\$ 159.006
M-E3003	4,89	\$ 156.304
M-E3006	4,94	\$ 154.819

Anexo 25. Tablas ahorros anuales al automatizar el funcionamiento de los motores seleccionados.

5 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E3001	13,64	6.549	6.276	273	\$ 28.172
E3002	13,31	6.388	6.122	266	\$ 27.481
E3003	12,61	6.051	5.799	252	\$ 26.030
E3004	11,83	5.680	5.444	237	\$ 24.436
E3005	15,00	7.201	6.901	300	\$ 30.978
E3006	16,42	7.881	7.553	328	\$ 33.902
E3007	12,24	5.875	5.630	245	\$ 25.273
E3008	14,13	6.780	6.498	283	\$ 29.166
E7201	14,51	6.964	6.674	290	\$ 29.958
E7202	9,81	4.711	4.515	196	\$ 20.265
E7203	13,77	6.610	6.335	275	\$ 28.436
E7204	4,90	2.350	2.252	98	\$ 10.110
E7301	12,37	5.938	5.691	247	\$ 25.545
E7302	16,30	7.826	7.500	326	\$ 33.665
E7303	11,50	5.521	5.291	230	\$ 23.751
E7304	12,02	5.768	5.527	240	\$ 24.811
E7305	11,24	5.395	5.170	225	\$ 23.209
E7805	6,79	3.259	3.123	136	\$ 14.021
E7806	6,80	3.262	3.126	136	\$ 14.031
E7807	6,00	2.882	2.762	120	\$ 12.397
E7808	5,80	2.784	2.668	116	\$ 11.978
E7809	4,19	2.012	1.929	84	\$ 8.657
E7501	3,94	1.891	1.812	79	\$ 8.135
E2001	5,73	2.750	2.636	115	\$ 11.831

5 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E2002	5,20	2.497	2.393	104	\$ 10.741
E502	2,59	1.242	1.190	52	\$ 5.343
E503	7,12	3.417	3.275	142	\$ 14.700
E504	3,13	1.505	1.442	63	\$ 6.472
E505	2,60	1.247	1.195	52	\$ 5.364
E506	2,58	1.237	1.185	52	\$ 5.319
E507	2,32	1.116	1.069	46	\$ 4.800
E508	2,13	1.024	981	43	\$ 4.404
E801	4,34	2.084	1.998	87	\$ 8.967
E802	4,37	2.098	2.010	87	\$ 9.023
E803	4,53	2.174	2.083	91	\$ 9.352
E1001	4,26	2.045	1.960	85	\$ 8.798
E1002	4,47	2.145	2.056	89	\$ 9.229
E1003	4,29	2.059	1.973	86	\$ 8.858
E1004	4,57	2.193	2.102	91	\$ 9.436
E1005	4,18	2.008	1.924	84	\$ 8.637
E1006	4,72	2.266	2.172	94	\$ 9.749
E1007	4,30	2.066	1.980	86	\$ 8.887
E1008	4,28	2.057	1.971	86	\$ 8.848
E1009	4,38	2.103	2.015	88	\$ 9.046
E1010	4,04	1.939	1.858	81	\$ 8.340
E1011	4,34	2.084	1.998	87	\$ 8.967
E1012	4,57	2.195	2.103	91	\$ 9.441

7 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E3001	13,64	6.549	6.167	382	\$ 39.603
E3002	13,31	6.388	6.016	373	\$ 38.632
E3003	12,61	6.051	5.698	353	\$ 36.592
E3004	11,83	5.680	5.349	331	\$ 34.351
E3005	15,00	7.201	6.781	420	\$ 43.548
E3006	16,42	7.881	7.421	460	\$ 47.659
E3007	12,24	5.875	5.532	343	\$ 35.528
E3008	14,13	6.780	6.385	396	\$ 41.001
E7201	14,51	6.964	6.558	406	\$ 42.115
E7202	9,81	4.711	4.436	275	\$ 28.487
E7203	13,77	6.610	6.225	386	\$ 39.975
E7204	4,90	2.350	2.213	137	\$ 14.212
E7301	12,37	5.938	5.592	346	\$ 35.910
E7302	16,30	7.826	7.369	457	\$ 47.325
E7303	11,50	5.521	5.199	322	\$ 33.389
E7304	12,02	5.768	5.431	336	\$ 34.879
E7305	11,24	5.395	5.081	315	\$ 32.626
E7805	6,79	3.259	3.069	190	\$ 19.710
E7806	6,80	3.262	3.071	190	\$ 19.725
E7807	6,00	2.882	2.714	168	\$ 17.428
E7808	5,80	2.784	2.622	162	\$ 16.839
E7809	4,19	2.012	1.895	117	\$ 12.170
E7501	3,94	1.891	1.781	110	\$ 11.436
E2001	5,73	2.750	2.590	160	\$ 16.632

7 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E2002	5,20	2.497	2.351	146	\$ 15.099
E502	2,59	1.242	1.170	72	\$ 7.511
E503	7,12	3.417	3.218	199	\$ 20.665
E504	3,13	1.505	1.417	88	\$ 9.099
E505	2,60	1.247	1.174	73	\$ 7.541
E506	2,58	1.237	1.164	72	\$ 7.478
E507	2,32	1.116	1.051	65	\$ 6.747
E508	2,13	1.024	964	60	\$ 6.191
E801	4,34	2.084	1.963	122	\$ 12.605
E802	4,37	2.098	1.975	122	\$ 12.684
E803	4,53	2.174	2.047	127	\$ 13.147
E1001	4,26	2.045	1.926	119	\$ 12.368
E1002	4,47	2.145	2.020	125	\$ 12.973
E1003	4,29	2.059	1.939	120	\$ 12.453
E1004	4,57	2.193	2.065	128	\$ 13.264
E1005	4,18	2.008	1.891	117	\$ 12.142
E1006	4,72	2.266	2.134	132	\$ 13.705
E1007	4,30	2.066	1.945	121	\$ 12.494
E1008	4,28	2.057	1.937	120	\$ 12.438
E1009	4,38	2.103	1.980	123	\$ 12.716
E1010	4,04	1.939	1.826	113	\$ 11.723
E1011	4,34	2.084	1.963	122	\$ 12.605
E1012	4,57	2.195	2.067	128	\$ 13.272

10 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E3001	13,64	6.549	6.003	546	\$ 56.940
E3002	13,31	6.388	5.856	532	\$ 55.544
E3003	12,61	6.051	5.547	504	\$ 52.610
E3004	11,83	5.680	5.207	473	\$ 49.389
E3005	15,00	7.201	6.601	600	\$ 62.612
E3006	16,42	7.881	7.224	657	\$ 68.522
E3007	12,24	5.875	5.386	490	\$ 51.081
E3008	14,13	6.780	6.215	565	\$ 58.950
E7201	14,51	6.964	6.384	580	\$ 60.551
E7202	9,81	4.711	4.318	393	\$ 40.958
E7203	13,77	6.610	6.060	551	\$ 57.474
E7204	4,90	2.350	2.154	196	\$ 20.433
E7301	12,37	5.938	5.443	495	\$ 51.630
E7302	16,30	7.826	7.174	652	\$ 68.042
E7303	11,50	5.521	5.061	460	\$ 48.005
E7304	12,02	5.768	5.287	481	\$ 50.147
E7305	11,24	5.395	4.946	450	\$ 46.909
E7805	6,79	3.259	2.988	272	\$ 28.338
E7806	6,80	3.262	2.990	272	\$ 28.359
E7807	6,00	2.882	2.642	240	\$ 25.057
E7808	5,80	2.784	2.552	232	\$ 24.210
E7809	4,19	2.012	1.845	168	\$ 17.497
E7501	3,94	1.891	1.734	158	\$ 16.443
E2001	5,73	2.750	2.521	229	\$ 23.913

10 Minutos					
Estanque	Demanda (kW)	Energía Inicial (kWh)	Energía Final (kWh)	Reducción Energía (kWh)	Ahorros anuales
E2002	5,20	2.497	2.289	208	\$ 21.709
E502	2,59	1.242	1.138	103	\$ 10.798
E503	7,12	3.417	3.132	285	\$ 29.711
E504	3,13	1.505	1.379	125	\$ 13.082
E505	2,60	1.247	1.143	104	\$ 10.842
E506	2,58	1.237	1.134	103	\$ 10.751
E507	2,32	1.116	1.023	93	\$ 9.701
E508	2,13	1.024	938	85	\$ 8.900
E801	4,34	2.084	1.911	174	\$ 18.123
E802	4,37	2.098	1.923	175	\$ 18.237
E803	4,53	2.174	1.993	181	\$ 18.902
E1001	4,26	2.045	1.875	170	\$ 17.783
E1002	4,47	2.145	1.967	179	\$ 18.652
E1003	4,29	2.059	1.888	172	\$ 17.904
E1004	4,57	2.193	2.011	183	\$ 19.071
E1005	4,18	2.008	1.840	167	\$ 17.457
E1006	4,72	2.266	2.077	189	\$ 19.705
E1007	4,30	2.066	1.894	172	\$ 17.963
E1008	4,28	2.057	1.885	171	\$ 17.882
E1009	4,38	2.103	1.928	175	\$ 18.283
E1010	4,04	1.939	1.777	162	\$ 16.856
E1011	4,34	2.084	1.911	174	\$ 18.123
E1012	4,57	2.195	2.012	183	\$ 19.082

Anexo 26. Obtención ahorros en mantención al reemplazar los motores de la PPL

Un aspecto a considerar al realizar la evaluación del reemplazo de motores existentes en la empresa son los ahorros en costos de mantención que se obtendrían. Si bien como se ha expresado en este trabajo la mantención de la empresa no es la adecuada, de igual manera se obtuvieron los costos de mantención para los motores actuales y para motores eficientes.

Los impactos económicos de la falla de un motor son difíciles de cuantificar y en el caso de Tricolor S.A., lo fueron aún más, ya que no existían historiales de fallas de los motores eléctricos estudiados en la PPL. Por lo mismo y con ayuda del departamento de mantención de la empresa, de acuerdo a los conocimientos de falla de los motores, se adoptó que para los motores eléctricos de uso actual al momento del estudio se consideraría que estos han tenido fallas frecuentemente, lo que permitió clasificarlos como motores poco confiables. En tanto que los motores que se propondrían en su reemplazo, fueron clasificados como confiables.

Como parte de este trabajo sólo se evaluaron los costos de reparaciones sucesivas de motores poco confiables (actuales) comparando estos valores con la de los costos asociados a un parque de motores confiables (motores eficientes).

Para realizar tal cálculo se utilizó la distribución de Weibull la que nos permitió ver que es más conveniente mantener un parque de motores eficientes en lugar de mantener motores obsoletos que deben ser reparados continuamente.

Para motores obsoletos la distribución se determinó por la ecuación:

$$PF = 100 \times \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \times e^{-1/\beta^\alpha}$$

Dónde: $\alpha = 2$ y $\beta = 2$

En el caso de los motores eficientes se determinó por:

$$PF = 100 \times \frac{\alpha}{\beta} \times \left(\frac{\text{año}}{\beta}\right)^{\alpha-1} \times e^{-\left(\frac{\text{año}}{\beta}\right)^\alpha}$$

Dónde: $\alpha = 12$, $\beta = 5$ y año es 4

En el primer caso, la bibliografía consultada, sugería adoptar el valor alfa igual 2 y el valor beta igual a 2. En el caso de un motor que prácticamente nunca ha fallado, por ser nuevo, se sugiere adoptar el valor alfa igual a 12 y beta igual a 5 [PEIE07].

En base a estas ecuaciones fue factible determinar la probabilidad de falla de los motores, para términos prácticos se utilizó un horizonte de 8 años, tiempo en que

los motores eficientes pasan a ser poco confiables. Puesto que transcurrido del orden de 3 años, desde adquirido un nuevo motor, igualmente se vuelve poco confiable, momento en que el motor debe ser sometido a un mantenimiento correctivo para que, luego de realizado éste, el motor vuelva a tener buenas características de confiabilidad durante los tres años siguientes. La probabilidad de falla, para un motor antiguo y nuevo, se indica en las tablas 10.3.a y 10.3.b.

Tabla 10.3.a. Tabla probabilidad de falla, desde el año 1 al 4, para un motor antiguo y nuevo.

Probabilidad de falla	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Motor antiguo	38,94	38,94	38,94	38,94
Motor nuevo	0,000005	0,01	0,87	19,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.3.b. Tabla probabilidad de falla, desde el año 1 al 4, para un motor antiguo y nuevo.

Probabilidad de falla	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Motor antiguo	38,94	38,94	38,94	38,94
Motor nuevo	0,000005	0,01	0,87	38,94

Fuente: Elaboración propia

Como en la empresa existen motores con distintas potencias se determinaron los costos de mantención por rangos de potencia como se ve a en las tablas 10.4.a, 10.4.b, 10.4.c, 10.4.c, 10.4.d y 10.4.e.

Tabla 10.4.a. Tabla costos de mantención, desde el año 1 al 4, para un rango de potencia de 0.5-4 kW.

Potencia (0,5 - 4 kW)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Motor antiguo	\$ 60.357	\$ 60.357	\$ 60.357	\$ 60.357
Motor nuevo	\$ 0	\$ 16	\$ 1.347	\$ 60.357

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.4.b. Tabla costos de mantención, desde el año 5 al 8, para un rango de potencia de 0.5-4 kW.

Potencia (0,5 - 4 kW)	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Motor antiguo	\$ 60.357	\$ 60.357	\$ 60.357	\$ 60.357
Motor nuevo	\$ 0	\$ 16	\$ 1.347	\$ 60.357

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.4.c. Tabla costos de mantención, desde el año 1 al 4, para un rango de potencia de 4-11 kW.

Potencia (4 - 11 kW)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Motor antiguo	\$ 106.501	\$ 106.501	\$ 106.501	\$ 106.501
Motor nuevo	\$ 0	\$ 28	\$ 2.376	\$ 106.501

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.4.d. Tabla costos de mantención, desde el año 5 al 8, para un rango de potencia de 4-11 kW.

Potencia (4 - 11 kW)	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Motor antiguo	\$ 106.501	\$ 106.501	\$ 106.501	\$ 106.501
Motor nuevo	\$ 0	\$ 28	\$ 2.376	\$ 106.501

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.4.e. Tabla costos de mantención, desde el año 1 al 4, para un rango de potencia de 11-0 Mkw.

Potencia 11 - o más kW	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Motor antiguo	\$ 200.152	\$ 200.152	\$ 200.152	\$ 200.152
Motor nuevo	\$ 0	\$ 52	\$ 4.466	\$ 200.152

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.4.f. Tabla costos de mantención, desde el año 5 al 8, para un rango de potencia de 11-o más kW.

Potencia 11 - o más kW	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Motor antiguo	\$ 200.152	\$ 200.152	\$ 200.152	\$ 200.152
Motor nuevo	\$ 0	\$ 52	\$ 4.466	\$ 200.152

Fuente: Elaboración propia

Anexo 27. Tablas ahorros en mantención al reemplazar los motores de la PPL

FC4-0								
Equipo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
M-PF-1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-1	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-4	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-2	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-10	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-4	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-DA	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-7	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-9	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-3	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PF-2	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-13	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-12	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-EG-P3	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0
M-PH4	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-5	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-V3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-V1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-14	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-SM2	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-MH1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-EP-P6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-T1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-T4	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0

FC4-1								
Equipo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
M-PF-1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-1	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-4	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-2	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-10	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-4	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-DA	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-3	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-9	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-7	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-EG-P3	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0
M-PE-13	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-12	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-2	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-5	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-14	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PH4	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-V3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-V1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-SM2	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-EP-P6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-MH1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-T4	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0
M-T1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PH3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-SM4	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-SM3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-GA50	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0

FC4-2								
Equipo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
M-PF-1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-1	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-4	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-2	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-10	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-4	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-DA	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-3	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0	\$ 60.357	\$ 60.341	\$ 59.010	\$ 0
M-PE-9	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-7	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-EG-P3	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0
M-PE-13	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-12	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PE-14	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-2	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-5	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PF-3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PH4	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-V3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0

FC4-2								
Equipo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
M-PF-6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-EP-P6	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-V1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-SM2	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-MH1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-T4	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0	\$ 106.501	\$ 106.473	\$ 104.125	\$ 0
M-GA50	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PH3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-T1	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-EP-P7	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-GA45	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-SM4	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-SM3	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-PH5	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-V2	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-E3005	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-E7201	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-E3003	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0
M-E3006	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0	\$ 200.152	\$ 200.100	\$ 195.686	\$ 0