Ministerio de Energía

Informe Técnico Preliminar

Estándar Mínimo de Eficiencia Energética

Motores Eléctricos de Inducción Trifásicos

DIVISIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

2015

Santiago - Chile

Versión consulta pública

Nota previa: el presente informe técnico preliminar se basa en el estudio denominado "Evaluación del impacto técnico económico para la implementación de estándares mininos de eficiencia energética en motores eléctricos" elaborado por River Consultores después de adjudicarse la licitación ID: 584105-41-LP13 realizada por el Ministerio de Energía.

El proceso para la definición de un estándar mínimo de eficiencia energética tiene como primer paso la elaboración del informe técnico preliminar, en el cual se detallan los antecedentes que justifican la política pública. El informe técnico preliminar propone un estándar mínimo y un cronograma de aplicación. Este informe es puesto en consulta pública para que los interesados puedan realizar comentarios con respecto a la propuesta de estándar mínimo.

Los comentarios al informe técnico deben ser enviados al mail eficienciaenergetica@minenergia.cl De manera paralela en la Web del Ministerio de Energía se dispondrá de un formulario para el envío de comentarios.

Una vez finalizado el proceso de consulta pública se realizarán Comités Técnicos, en donde se revisarán las observaciones realizadas al informe. La inscripción para participar de los Comités Técnicos se realizan de manera paralela a la consulta pública del informe técnico preliminar a través del correo electrónico antes citado o bien a través de la página Web del Ministerio de Energía habilitada para tales efectos.

Una vez que se cierra la etapa de Comités Técnicos, cuyo número de sesiones dependerá de la cantidad y tipo de observaciones recibidas, se elabora el informe técnico definitivo y se propone el estándar mínimo de eficiencia energética y el cronograma final de aplicación. Esto se hace efectivo por medio de un acto administrativo emanado del Ministerio de Energía.

Tabla de contenido

1. Introducción 5

1.1 La importancia de la eficiencia energética y de los Estándares Mínimos de Eficiencia Energética 5

1.2 Evolución de la tecnología y MEPS en motores 6

1.3 Chile: consumo de energía debido a sistemas motrices 7

2. Antecedentes nacionales que facilitan la definición de estándares mínimos de eficiencia energética 11

2.1 Etiquetado de eficiencia energética 11

2.2 Categorías de eficiencia energética para motores a nivel internacional 12

2.3 Contexto nacional del mercado en motores en chile y de la eficiencia energética en estos productos 13

3. Antecedentes internacionales 19

3.1 Unión Europea 20

3.2 Estados Unidos 23

3.3 China 24

3.4 Brasil 26

Otros motores eléctricos definidos a continuación están cubiertos por MEPS brasileños: 27

Exclusiones 28

Cronograma de aplicación 28

3.10 Resumen 28

4. Evaluación de alternativas para estándar mínimo de eficiencia energética para motores 30

4.1 Antecedentes 30

4.2 Alcance 31

4.3 Metodología 31

4.4 Recomendación inicial de estándar mínimo de eficiencia energética para motores 37

4.5 Stock de motores: casos BAU Y de política pública 38

4.6 Análisis de impactos a nivel nacional 41

4.7 Análisis de sensibilidad 42

4.8 Conclusiones y recomendaciones del estudio 49

5. Propuesta de implementación de un estándar mínimo de eficiencia energética para Chile 50

6. Anexos 52

1. Introducción

1.1 La importancia de la eficiencia energética y de los Estándares Mínimos de Eficiencia Energética

Mejorar la eficiencia energética de los artefactos domésticos e industriales es un tema relevante para avanzar en las políticas de sustentabilidad en nuestro país. De acuerdo a diversos expertos, estudios y recomendaciones internacionales[1], el etiquetado de eficiencia energética y los estándares mínimos de eficiencia energética (MEPS por sus siglas en inglés), son las políticas más costo-efectivas para mejorar el parque tecnológico disponible en un país, y de esta manera avanzar en el desarrollo de una política pública que incremente la eficiencia energética a nivel residencial.

El Lawrence Berkely National Lab de California en conjunto con el Programa Colaborativo de Etiquetado y Estándares de Eficiencia Energética (CLASP por sus siglas en inglés) han desarrollado una metodología utilizada para evaluar los impactos de implementar políticas de estándares mínimos de eficiencia energética en artefactos, esta metodología se denomina "Modelo PAMS" (Policy Analysis Modeling System) y es reconocida como un instrumento de gran ayuda para la toma de decisiones en el ámbito de las políticas públicas en eficiencia energética.

Considerando lo anterior, el Ministerio de Energía licitó el estudio denominado "Evaluación del impacto técnico económico para la implementación de estándares mininos de eficiencia energética en motores eléctricos" con el objetivo de contar con una evaluación independiente y objetiva de los diferentes impactos de implementar un estándar mínimo de eficiencia energética en motores. La licitación se adjudicó a River Consultores, quienes realizaron el estudio en conjunto con el Lawrence Berkeley National Laboratory. El presente informe utiliza los resultados de ese estudio y los análisis allí realizados. El estudio se encuentra disponible en la Web del Ministerio de Energía.

La experiencia internacional muestra que la introducción de MEPS ha sido efectiva para mejorar los niveles de eficiencia energética, sobre todo en mercados donde la autorregulación, la información al consumidor y la racionalidad de los beneficios económicos esperados, la competencia o el propio avance tecnológico no logran alterar la decisión de compra masiva de productos ineficientes versus productos alternativos con mayores niveles de eficiencia energética, en particular en aquellos productos que representan un importante porcentaje del consumo final y donde dicha elección se traduciría durante el ciclo de vida en menores costos de operación que cubren adecuadamente los mayores costos de inversión.

[1] Se puede nombrar: Recomendaciones APEC – Revisión de Expertos 2009; Informe Comisión Ciudadana Tecnico-Parlamentaria; Informe Comisión Asesora Desarrollo Eléctrico; Especialistas Lawrence Berkeley Lab Universidad de California.

1.2 Evolución de la tecnología y MEPS en motores

A nivel internacional el etiquetado de eficiencia energética y los estándares mínimos de rendimiento energético han generado una disminución sostenida del consumo energético de los artefactos en los que se aplican.

Gracias a la aplicación de estas medidas, la tecnología ha avanzado más rápido y se cuenta con mejores productos, más eficientes y amigables con el medio ambiente.

Los motores eléctricos convierten potencia eléctrica en potencia mecánica a través sistemas motrices, y corresponden transversalmente al consumo base de todas las actividades productivas. Representan el principal consumo eléctrico industrial base.

La Agencia Internacional de Energía (AIE), ha estimado el consumo eléctrico de los sistemas motrices como el 69% del consumo total mundial del sector industrial. Además de presentar una relevante participación en el consumo de los demás sectores económicos, como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 1: Relevancia Mundial del consumo eléctrico de motores en el mundo por sector

Sector	**Consumo Eléctrico**	**% de demanda atribuible a motores**
Industrial	4.488 TWh/año	69%
Comercial	1.412 TWh/año	38%
Residencial	948 TWh/año	22%
Transporte y Agricultura	260 TWh/año	39%

Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2011.

De acuerdo al citado diagnóstico, los motores se encuentran presentes transversalmente en la industria y otros sectores económicos, con variadas aplicaciones dependiendo de su potencia y voltaje, como se caracteriza a continuación:

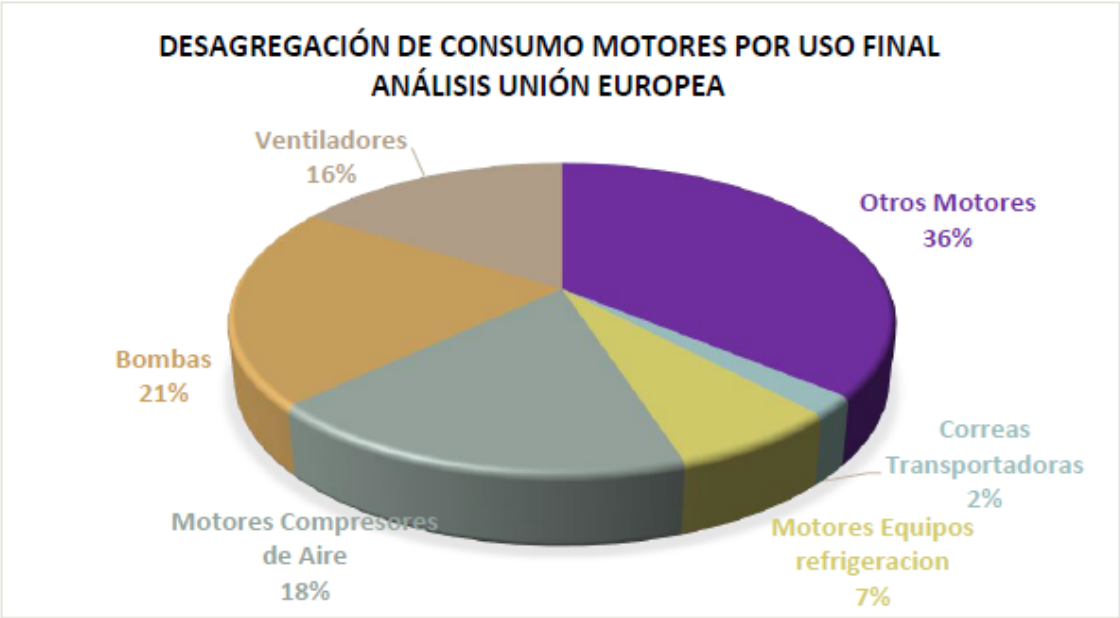
El rango de potencias inferiores a 0,75 kW (o 1 HP) representa sólo el 9% del consumo eléctrico asociado a motores, y las aplicaciones se enfocan principalmente a usos en sectores residenciales y comerciales, y se encuentran generalmente integrados a productos de fabricación en masa como por ejemplo refrigeradores, computadores, ventiladores, y aplicaciones variadas.

En general las medidas de eficiencia energética en este rango de potencias se aplican al equipo integrado y no al motor en sí mismo, por la dificultad de la medición individual del motor. Existen medidas de eficiencia y en particular MEPS asociados a algunos de estos artículos, pero incluso en Europa aún existe un amplio rango de productos con motor integrado que aún no han sido regulados.

El principal consumo eléctrico asociado a motores, de acuerdo a la AIE, se encuentra concentrado en los motores de tamaños medianos con un rango de potencias comprendidas entre los 0,75kw hasta 375kw (1 HP a 500 HP). En este rango de motores existe un sinnúmero de tipos y

alternativas disponibles, no obstante, el consumo se centra en motores de inducción de corriente alterna, trifásica, en bajo voltaje (menos a 1000 V, dependiendo del país de análisis), los cuales son vendidos por fabricantes de todas partes del mundo, e integrados en equipos como bombas, compresores, ventiladores, sistemas transportadores de materiales, etc., que son utilizados en todo el espectro de industrias como minería, energía, pulpa y celulosa, e industrias productoras varias.

Gráfico 1: Desagregación de Consumo de Motores por uso Final.



Fuente: Alemeyda, Energy-efficient motor systems in the industrial and in the services sectors in the European Union: characterisation, potentials, barriers and policies.

1.3 Chile: Consumo de energía debido a sistemas motrices

Los sistemas motrices

El consumo de energía eléctrica debido a sistemas motrices en Chile tiene gran importancia dentro de la industria y minería. Diversos estudios indican que sobre el 70% del consumo eléctrico en estos sectores se debe al uso de sistemas motrices.

El año 2007, un estudio realizado por Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN)[2] de la Universidad de Chile, estimó que de un total de 32.510 GWh/año de energía consumida por el sector industrial y minero, 22.757 GWh/año lo consumen motores eléctricos.

Este estudio además presenta el tamaño del parque motriz eléctrico para el sector industria y minería.

[2] "Caracterización del parque actual de motores eléctricos en Chile". Enero 2007.

Tabla 2: Número de Motores eléctricos por subsector.

Rango de Potencia [HP]	Pequeña y mediana empresa	Minería del cobre	Gran Industria y otra minería	Total industria y minería
]0;5]	91.663	41.178	8.381	**141.222**
]5;20]	37.666	14.435	4.223	**56.324**
]20;50]	15.864	7.718	2.876	**26.458**
]50;100]	8.106	4.267	2.266	**14.639**
]100;200]	4.460	2.659	1.170	**8.289**
]200;500]	1.843	1.790	775	**4.408**
]500;1000]	708	852	351	**1.911**
]1000;—]	108	118	50	**276**
Total	**160.418**	**73.017**	**20.092**	**253.527**

Fuente: PRIEN 2007.

La Tabla 3 presenta la participación porcentual por subsector del parque de motores eléctricos del sector industria y minería, se puede apreciar que el 55,7% corresponden a motores de baja potencia hasta 5 HP, y el 63,3% del total de motores se encuentran dentro del subsector pequeña y mediana empresa.

Tabla 3: Participación porcentual de Motores eléctricos por subsector.

Rango de Potencia [HP]	Pequeña y mediana empresa	Minería del cobre	Gran Industria y otra minería	Total industria y minería
]0;5]	36,16%	16,24%	3,31%	55,70%
]5;20]	14,86%	5,69%	1,67%	22,22%
]20;50]	6,26%	3,04%	1,13%	10,44%
]50;100]	3,20%	1,68%	0,89%	5,77%
]100;200]	1,76%	1,05%	0,46%	3,27%
]200;500]	0,73%	0,71%	0,31%	1,74%
]500;1000]	0,28%	0,34%	0,14%	0,75%
]1000;—]	0,04%	0,05%	0,02%	0,11%
Total	63,27%	28,80%	7,92%	100,00%

Fuente: PRIEN 2007.

En el 2008 el PRIEN concluyó otros dos estudios denominados: (i) “Estimación del Potencial de Ahorro de Energía, mediante mejoramientos de la eficiencia energética de los distintos sectores”, (ii) “Estimación Preliminar del Potencial de la Eficiencia en el Uso de la Energía Eléctrica al abastecimiento del Sistema Interconectado Central”. En estos estudios se pudo determinar que el 75% del consumo de electricidad en el sector industria y minería se debe al uso de sistemas motrices. La Tabla 4 presenta la estructura del consumo de energía eléctrica por sector y uso final.

Tabla 4: Estructura del consumo de energía por sector y uso final.

Sector	Subsector	Participación en el consumo de energía eléctrica				
		Fuerza motriz	Iluminación	Climatización	Refrigeración	Otros
Cobre		75%	10%			15%
Gran industria y gran minería		70%	5 a 7%			23 a 25%
Industrias y minas varias		75%	5 a 7%			18 a 20%
Residencial			40%		30%	30%
Comercial	Gran comercio	7%	29%	63%		1%
	Pequeño comercio		10%		70%	20%
Público		10%	60%	30%		

Fuente: PRIEN 2008.

En el 2009 se realizó la "Encuesta de consumo y eficiencia energética", elaborada por el Instituto Nacional de Estadísticas. Los resultados más relevantes evaluados, tomado de la base de datos de las encuestas realizadas a una muestra de 3.956 empresas del sector industrias y minas, se muestran en Tabla 5 que presenta la participación porcentual de tenencia de equipos y sistemas motrices dentro de sus procesos productivos en el sector industria y minas.

Tabla 5: Grado de utilización de sistemas consumidores de energía en el sector industrial (en %)

Muestra	3956	
SISTEMA	**Utiliza (%)**	**Se mide Eficiencia Energética (%)**
Generacion y Distribucion de Calor y Frio en Procesos Productivos		
9.1. Sistemas de Vapor y/o Agua caliente para calor de proceso	13,55	4,58
9.2. Hornos	32,31	4,52
9.3. Refrigeracion	13,55	2,45
9.4. Calefacción, Agua caliente sanitaria, climatización en edificios	16,96	0,83
Calefaccion Central (caldera central, bomba de calor, etc.)		
9.5. Calefacción Descentralizada	4,93	0,53
9.6. Agua Caliente Sanitaria	17,92	1,37
9.7. Aire Acondicionado	23,76	1,87
Electro-mecánico		
9.8. Sistemas de Bombas	28,03	5,23
9.9. Sistemas de Ventilación/Extracción de Aire	27,05	2,76
9.10. Sistemas de Transporte (Cintas transportadoras, etc.)	22,57	3,82
9.11. Sistemas de Aire Comprimido	35,34	5,86
9.12. Tratamiento de Materiales (mollenda, chancado, cortado, etc.)	27,25	3,67
9.13. Otros Sistemas Motrices	41,20	3,21
9.14. Iluminación	99,92	7,68
9.15. Otros Sistemas	4,30	0,51

Fuente: INE 2009.

Por otro lado, el Estudio Usos Finales Industria y Minería realizado por la Universidad Federico Santa María en 2010 desarrolló un análisis detallado de la información contenida en la base de datos del INE, a partir de la encuesta industrial realizada a 3.956 instalaciones industriales y

mineras de Chile. El estudio tuvo como objetivo caracterizar el uso final de la energía utilizada en las distintas industrias e instalaciones mineras de Chile.

El estudio dividió el sector industrial y minero en 20 sectores, y analizó como se distribuyen los principales consumos energéticos.

Los usos de energía eléctrica fueron divididos en dos grandes áreas: por un lado se agrupa los consumos en Motor - Tracción - Fuerza, y por otro se agrupan los usos en Eléctrico, Iluminación y Electrónica.

Tabla 6: Usos de energía eléctrica.

Sector	Motor - Tracción - Fuerza TCal/año	Eléctrico, Iluminación y Electrónica TCal/año
Agro Pulpa Secado	364	24
Agro Frío	132	26
Papel y Celulosa	4.049	45
Madera y Muebles	1.326	55
Papel, Cartón e Imprentas	79	4
Pesca	114	0
Lácteo	700	15
Harina	231	13
Prod. cárnicos	280	23
Pan	56	0
Vit.	81	61
Cerv. Beb	183	26
Azucar	43	0
Tabaco	5	2
Quimica	500	46
Minería No Metálica y Metálica Básica[3]	0	0
Metálico, Maquinarias y Equipos	2	0
Siderurgia	642	43
Cobre	19.927	3.412
Minas Varias	4.529	503
Total	33.243	4.298

Fuente: Estudio Usos Finales Industria y Minería, 2010.

De las 37.541 Tcal/año de energía eléctrica utilizada por la industria y minería, el 89% corresponde a usos relacionados con sistemas motrices.

[3] Para este sector la encuesta solo registra consumos de energía térmica.

2. Antecedentes nacionales que facilitan la definición de estándares mínimos de eficiencia energética

2.1 Etiquetado de eficiencia energética

El etiquetado de eficiencia energética para motores en nuestro país se basa en la Norma NCh3086 de 2008. Esta norma fue estudiada a través del Comité Técnico Motores eléctricos del Instituto Nacional de Normalización, para establecer la clasificación y etiquetado de eficiencia energética de los motores eléctricos de inducción trifásicos de baja tensión con rotor jaula de ardilla.

La norma se basa para el diseño de la etiqueta en la versión en español del Proyecto de Norma COPANT 152-005, y en las normas internacionales de la IEC: IEC 60034-1 año 2004, IEC 60034-2-1 año 2004, e IEC 60050-411 año 1996.

La etiqueta es de carácter comparativo, es decir, informa a los usuarios sobre las características del producto para fines de comparación, por medio de una escala que va desde la letra A (los más eficientes o equivalentes a IE3) a la letra D (los menos eficientes o inferiores a IE1). En anexos se informan los niveles requeridos para cada una de las categorías definidas en la norma.

Para calcular el rendimiento se deben aplicar los métodos de IEC 60034-2-1 establecidos en Tabla 2, subcláusulas 8.2.2.5.1 y 8.2.2.5.3. A menos que se especifique de otra manera el método de subcláusula 8.2.2.5.1 se debe usar para motores de potencia menor o igual que 150 kW.

Imagen 1: Etiqueta de eficiencia energética para motores

El primer protocolo de ensayo de eficiencia energética para motores eléctricos definido por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, protocolo PE N°7/01/2, fue publicado en

diciembre de 2008, utilizando como normas de referencia la norma IEC 60034-2-1 (2007) para los ensayos, y la NCh 3086 para la etiqueta de eficiencia energética.

El protocolo establece el procedimiento de certificación y etiquetado de eficiencia energética para motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla, de acuerdo al siguiente alcance:

- Frecuencia: 50 Hz
- Tensión: Que puedan funcionar a 380 Volts, entre otras combinaciones, motores marcados como 220/380, 400/600, 400/690 Volts
- Velocidad: Una velocidad nominal
- Número de polos: 2, 4 y 6 polos
- Potencia: Desde 0,75 hasta 7,5 kW
- Ciclo de servicio: S1 (de acuerdo a clasificación de la norma IEC 60034-1)
- Tipo de envolvente: Abierta o cerrada (> IP21) con autoventilación

Quedan excluidos del alcance

- Motores fabricados especialmente para la operación con convertidor de acuerdo con la norma IEC60034-25
- Motores con freno electromagnético o manual

2.2 Categorías de eficiencia energética para motores a nivel internacional

Los motores son equipos técnicamente estandarizados de acuerdo a normativas internacionales.

En materia de organizaciones de estándares internacionales, los estándares IEC y NEMA contienen muchos requisitos comunes para motores, y describen la variedad de motores disponibles en el mercado. La norma NEMA (National Electrical Manufacturers Association) representa en general al mercado de EEUU, mientras que la norma IEC (International Electrotechnical Commission) es la norma internacional que se sigue en gran parte del resto del mundo.

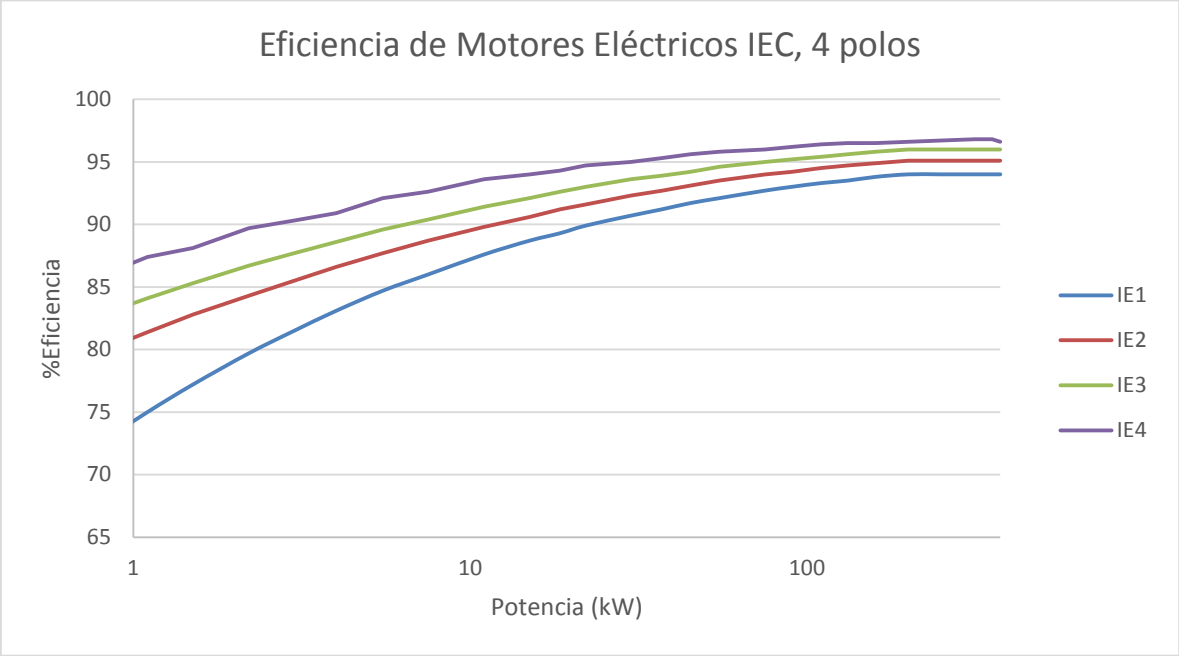
Las regulaciones técnicas de motores están contenidas en (de acuerdo al estándar internacional seguido) en el estándar IEC 60034 “Máquinas Eléctricas Rotativas” y el estándar NEMA MG- 1 “Motores y Generadores”, ambas normas han sido actualizadas en 2014.

La edición previa de la IEC define clases de eficiencia a través de las siglas IE1, IE2, e IE3, siendo IE1 (Standard Efficiency), IE2 (High Efficiency), IE3 (Premium Efficiency), la actualización 2014 incluye una nueva categoría “IE4”, que es un nivel superior a IE3. Además, la actualización 2014 hace referencia a una nueva categoría a ser definida “IE5” en próximas actualizaciones.

En EE.UU, la norma NEMA 2009, denomina los niveles de eficiencia similares de manera diferente. No obstante, existen equivalencias relativas entre IEC y NEMA. El nivel de eficiencia NEMA Premium es comparable con IE3 (Premium Efficiency), mientras que NEMA Energy Efficient es

comparable con IE2 (High Efficiency). Finalmente la clase IE1 corresponde a NEMA Standard Efficiency.

Gráfico 2: Límites de eficiencia energética según Norma IEC 60034 ed. 2014 para motores de 4 polos.



Fuente: Lawrence Berkeley National Lab. 2014.

2.3 Contexto nacional del mercado en motores en chile y de la eficiencia energética en estos productos

El mercado chileno de motores contiene una variedad importante de las principales marcas existentes en el mundo, y de diversos países de origen como se muestra en el siguiente gráfico que presenta los países de origen de importación de motores en base a información de aduana de los últimos años.

Gráfico 3: Diversidad de origen de Motores importados en el rango de 0,75 kW hasta 375 kW (1hp -500 hp), en blanco “otros países”.

Fuente: River Consultores en Base a Datos Aduana 2013

En Chile se encuentran presentes motores de las principales y más reconocidas marcas del mundo, tales como ABB, General Electric, Siemens, Toshiba, WEG, entre otras (sin ningún orden en particular), así como una fuerte importación de motores eléctricos desde China y otros países productores, como se puede apreciar en la ilustración anterior.

La especificación de los motores importados, suele seguir estándares internacionales antes ya descritos, IEC o NEMA, de acuerdo principalmente al tipo de industria y uso final al que vaya dirigido, siendo NEMA generalmente la opción requerida por la industria minera o requerimiento heavy duty.

En el mercado nacional de motores no hay restricciones a la importación. Cualquier persona, natural o jurídica, puede importar motores para los fines que estime conveniente.

Para caracterizar de mejor manera el mercado local, en el estudio se definieron cuatro rangos representativos de motores, consensuados tanto con los actores de la industria que han sido consultados durante el desarrollo del presente trabajo, y con el equipo de trabajo del LBNL, en coherencia con los análisis de MEPS de motores en EEUU y otros países que colaboran con LBNL.

A través de esta segmentación se busca sistematizar las evaluaciones y propuestas desarrolladas, haciéndose cargo de las diferencias que se han señalado anteriormente entre los distintos rangos

de potencia, usos y clientes del mercado de motores entre 1 hp a 500 hp, como se explica en la tabla a continuación.

- Rango 1: Motores de potencias entre 1 hp y 10 hp
- Rango 2: Motores de potencias >10 hp hasta 50 hp
- Rango 3: Motores de potencias >50 hp hasta 100 hp
- Rango 4: Motores de potencias >100 hp hasta 500 hp

Tabla 7: Caracterización de Motores de Inducción por Rangos de Potencia para efecto del presente estudio

Rango de Motores	Breve Caracterización del Mercado
1 hp a 10 hp	- Mercado Atomizado, con múltiples actores e importadores, sobre 400 importadores de motores durante el año 2013 de acuerdo a Base de Datos Importaciones de Aduana. - Corresponde a un mercado de menor margen relativo a motores de mayor tamaño, de a acuerdo a entrevistas con actores de la industria. - Segmento de mercado competitivo, que vende transversalmente a todos los sectores productivos, pero donde se destacan integradores de equipos, pymes y la industria en general, de acuerdo a análisis comercial de actores de la industria entrevistados. - Mercado de un consumidor, en teoría, menos informado y en el cual la eficiencia energética no es un aspecto relevante al momento de la compra. - Mercado actualmente afecto a etiquetado de eficiencia energética nacional, que exige ensayos de acuerdo a protocolo SEC, basado en la NCh 3086.2008
>10 hp hasta 50 hp	- Mercado con menores actores que el rango previo (sobre 150 importadores de motores en este rango durante el año 2013, Fuente: Base de Datos Importaciones Aduanas). - Principales clientes, corresponden nuevamente a minería, pulpa celulosa, pesca, y en menor grado pyme. Integradores de equipos presentan gran relevancia. (Fuente: Entrevistas con industria). - Este rango de potencia el concepto de eficiencia energética comienza a ser relevante pero dependiendo de la industria en la cual opere el cliente final (Fuente: Entrevistas con Gerentes Comerciales Importadoras de Motores) - Norma chilena de Etiquetado de EE aborda el presente rango de motores, no obstante, protocolo de implementación no lo contempla en su aplicación práctica.
>50 hp hasta 100 hp	- Mercado con menos actores, con enfoque a mediana y gran industria presente en el país, con niveles de participación equivalentes a la participación en el consumo energético de cada sector. - Este rango de potencia el concepto de eficiencia energética comienza a ser relevante pero dependiendo de la industria en la cual opere el cliente final (Fuente: Entrevistas con Gerentes Comerciales Importadoras de Motores) - Norma chilena de Etiquetado de EE aborda el presente rango de motores, no obstante, protocolo de implementación no lo contempla en

	su aplicación práctica.
>100 hp hasta 500 hp	- Mercado dominado por grandes marcas, con motores principalmente destinados a minería y gran industria. - La eficiencia energética suele ser un aspecto evaluado al momento de especificación y compra, nuevamente con un énfasis diferente dependiendo del sector productivo. (Fuente: Entrevistas con Gerentes Comerciales Importadoras de Motores) - Norma chilena de Etiquetado de EE aborda el presente rango de motores, no obstante, protocolo de implementación no lo contempla en su aplicación práctica.

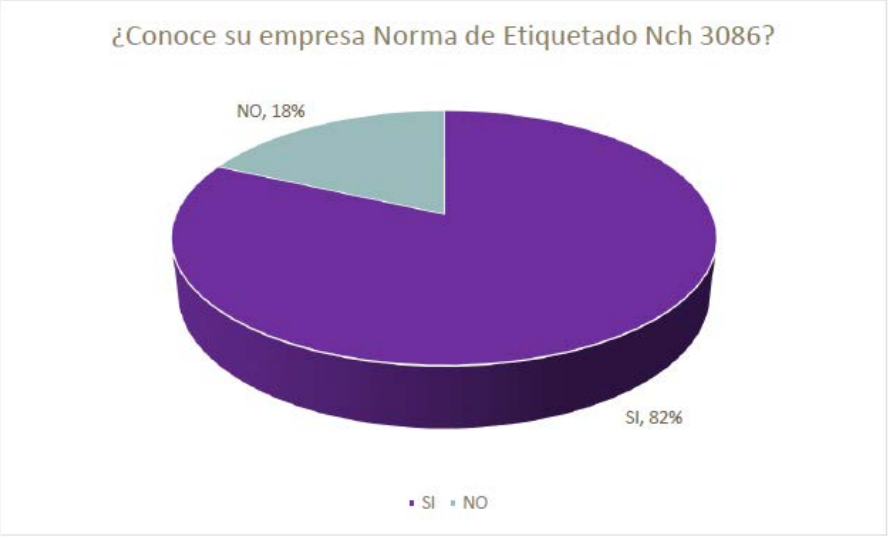
Para caracterizar el mercado de los motores el estudio recurrió a diferentes alternativas:

- Entrevistas con actores relevantes de la industria
- Levantamiento de información de fuentes oficiales
- Revisión de Encuesta Motores SEC 1-10 hp
- Desarrollo de encuestas como cliente incognito

A pesar de todas dichas acciones, no existía una fuente capaz de entregar el nivel de eficiencia de los motores comercializados a la fecha. Por ello, fue necesario el desarrollo de una encuesta actualizada y ampliada de motores, dado que la única encuesta disponible del mercado corresponde a aquella desarrollada por la SEC, la que se limita al rango de motores de 1-10 hp, de acuerdo al actual rango de etiquetado obligatorio.

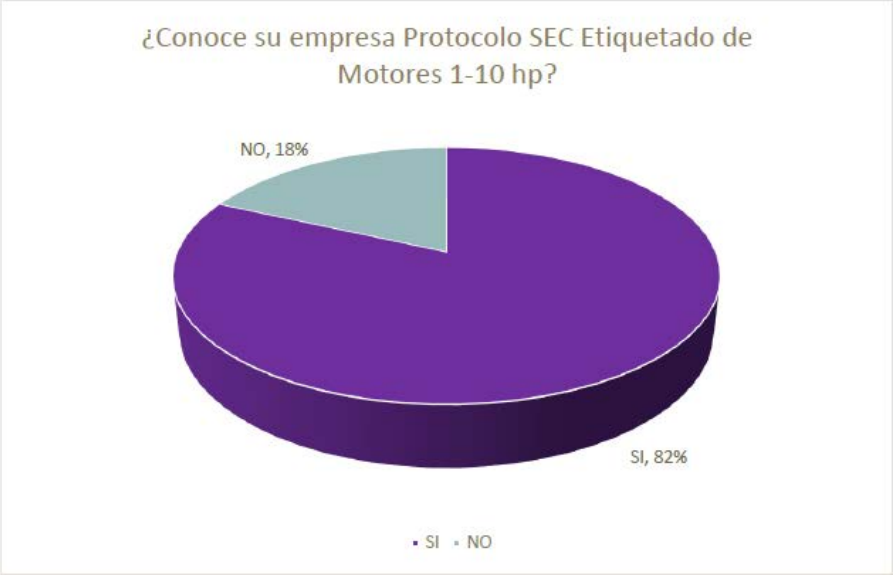
Los principales resultados obtenidos utilizados para el presente informe se entregan a continuación, todos los tags de empresas cambian por pregunta y orden para asegurar confidencialidad de los datos:

Gráfico 4: Nivel de Conocimiento Norma de Etiquetado Nch 3086



Fuente: River Consultores, 2014.

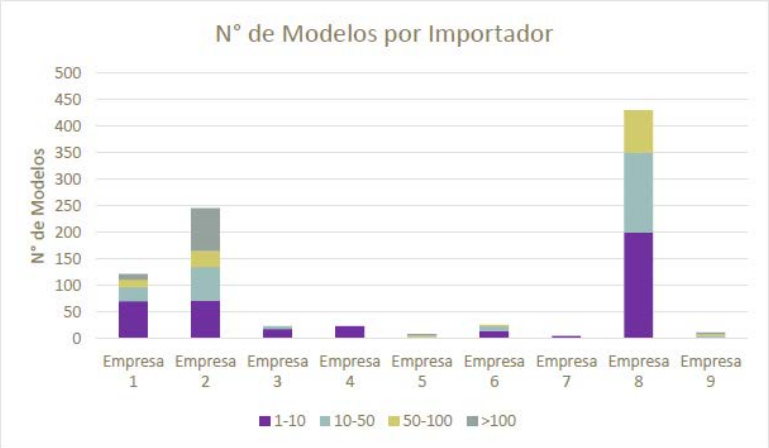
Gráfico 5: Nivel de Conocimiento Protocolo SEC Etiquetado



Fuente: River Consultores, 2014.

El número de modelos a testear es importante, considerando que cada potencia debe ser testeada, multiplicada por versiones por número de polos, y niveles de eficiencia (tres niveles a la fecha). Este efecto con el etiquetado de 1-10 HP obligó a varias empresas a reducir el número de modelos a público para reducir los costos del etiquetado. También un MEPS reduciría en sí mismo el número de motores a testear por eliminar clases de eficiencia a analizar.

Gráfico 6: N° de Modelos por Empresa por rangos de potencia. Contempla solo aquellas empresas que responden la pregunta, tags diferenciados para mantener confidencialidad.



Fuente: River Consultores, 2014.

En materia de Niveles de Eficiencia Energética, existe una amplia gama de eficiencias energéticas declaradas. También se detecta, que marcas reconocidas en el mundo que en otros países comercializan niveles de eficiencia más altos, en Chile sólo comercializan IE1.

A continuación se presenta los resultados

Tabla 8 : Mix más alto de EE Ofrecida

Motores Comercializados Marca X	*% Inferior IE1 o su equivalente en NEMA*	*% IE1 o su equivalente en NEMA*	*% IE2 o su equivalente en NEMA*	*% IE3 o su equivalente en NEMA*	*% Superior a IE3 o su equivalente en NEMA*
Desde 1 a 10 hp		90%	10%		
>10 hp hasta 50 hp		90%	10%		
>50 hp hasta 100 hp		70%	30%		
>100 hp hasta 500 hp		60%	10%	30%	

Tabla 9: Rango inferior de EE Ofrecida

Motores Comercializados Marca Z	*% Inferior IE1 o su equivalente en NEMA*	*% IE1 o su equivalente en NEMA*	*% IE2 o su equivalente en NEMA*	*% IE3 o su equivalente en NEMA*	*% Superior a IE3 o su equivalente en NEMA*
Desde 1 a 10 hp	30%	69,75%	0,25%		
>10 hp hasta 50 hp	25%	73%	2%		
>50 hp hasta 100 hp	11%	86%	3%		
>100 hp hasta 500 hp	3%	58%	39%		

Dentro de los resultados destacables que surgen del estudio están:

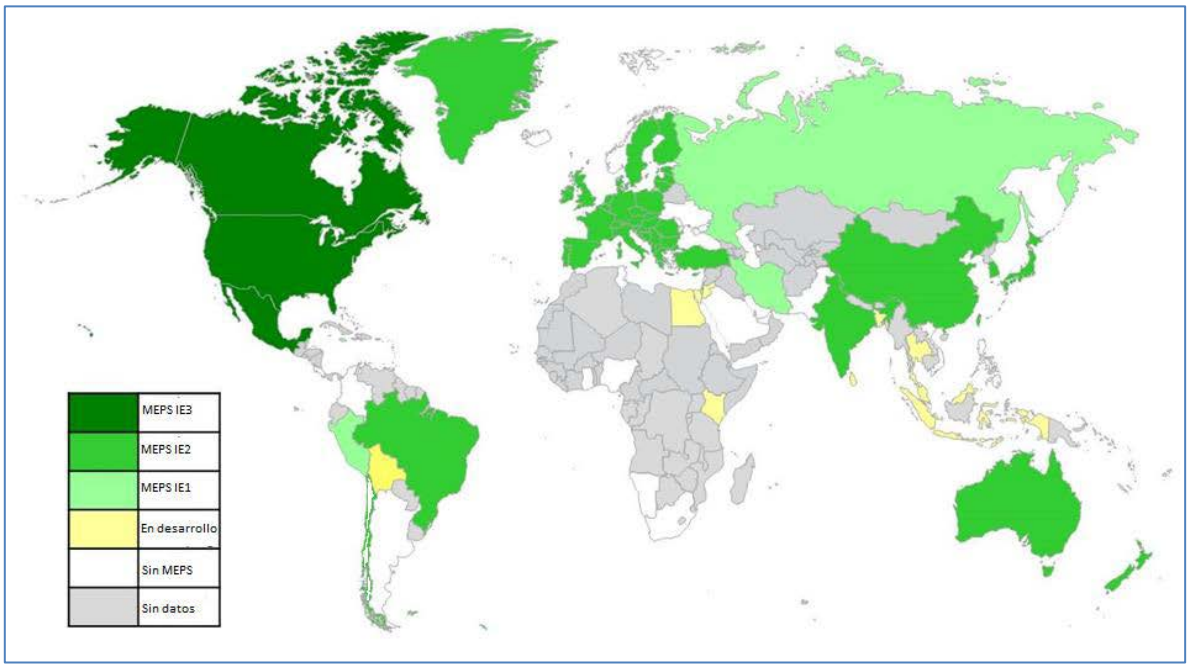
- No existe un 100% de conocimiento del procedimiento de etiquetado, incluyendo empresas reconocidas en el rubro
- La participación eficiencias superiores IE3 o superior es mínima.
- La participación de eficiencia IE2 es inferior a la esperada considerando los porcentajes que el rubro minero representa en cada rango.
- Existen empresas con ventas de motores dedicados 100% a unidades de eficiencia IE1 e inferiores.
- Alta cantidad de modelos por marca, lo que hace costoso la certificación.
- Eficiencia Base para todos los rangos de motores IE1, la cual es conservadora para efectos del cálculo en motores de potencia inferior a 100 hp.

Adicionalmente, resulta interesante indicar que existe arraigado en los proveedores de la industria minera el concepto de “Motores de Alta Eficiencia” proveniente de la traducción literal de NEMA, motores equivalentes en IEC a IE2. El estándar “Alta Eficiencia” o IE2, hoy en día corresponde a la eficiencia mínima aceptada en EEUU.

3. Antecedentes internacionales

La gran mayoría de países que han incorporado un MEPS de motores a su regulación energética, y de ellos gran parte de los referentes o países de origen de importaciones locales, han establecido como nivel mínimo la eficiencia equivalente a IE2 o High Efficiency (NEMA), o superiores.

Imagen 2: Mapa Mundial de Políticas MEPS



Fuente: CLASP con ajustes al caso chileno

Un caso particular es la Unión Europea (UE), que ha definido un procedimiento gradual de mover al mercado de motores a niveles eficiencia mínima IE3 o en su defecto a IE2 con variadores de frecuencia obligatorios.

En la UE partir del 2015, todos aquellos nuevos motores de potencias mayores a 10 hp, y a partir del 2017 todos aquellos nuevos motores menores de 10 hp, deberán ser clase IE3 o en su defecto un motor IE2 pero con la incorporación de un variador de frecuencia al motor. En este sentido la experiencia de la UE va pasos más adelante de la tendencia internacional general.

A continuación se presenta un resumen de la experiencia internacional de países que han implementado MEPS de motores a la fecha.

3.1 Unión Europea

Descripción del proceso

La Unión Europea declara que los motores eléctricos representan el mayor consumo eléctrico industrial de la zona. En consecuencia, los motores son un producto prioritario para el que se deben establecer requisitos ecodesign. El reglamento CE Comisión de la UE 640/2009 de 22 de julio de 2009, especifica los requisitos de diseño para los motores eléctricos en la UE, y fue modificada por medio del Reglamento de la UE N° 4/2014 de 6 de enero de 2014.

Según la Directiva 2005/32/CE, estos requerimientos de diseño deben ser fijados por la Comisión para los productos que utilizan energía y representan un volumen significativo de ventas y que a la

vez tienen un importante impacto medioambiental presentando posibilidades significativas de mejora en términos de su impacto medioambiental sin que ello suponga costes excesivos.

Características de los motores a los que aplica el MEPS

De acuerdo a las definiciones establecidas en el Reglamento de la UE N° 4/2014, el Reglamento establece los requisitos de diseño ecológico para la comercialización y la puesta en servicio de motores, incluidos los integrados en otros productos.

Se entiende por motor aquel de inducción eléctrica trifásica, de velocidad única, de jaula de ardilla, de 50 Hz o 50/60 Hz, que:

— tenga de 2 a 6 polos,

— tenga un voltaje nominal UN de hasta 1 000 V,

— tenga una potencia nominal PN de entre 0,75 kW y 375 kW,

— esté pensado para un servicio en funcionamiento continuo;

Exclusiones: el Reglamento de la UE N° 4/2014 no se aplicará a:

a) motores diseñados para funcionar totalmente sumergidos en un líquido;
b) motores totalmente integrados en un producto (por ejemplo, mecanismos de transmisión, bombas, ventiladores o compresores) cuyo comportamiento energético no pueda someterse a ensayo independientemente del producto;
c) motores diseñados para funcionar exclusivamente:
    1. en altitudes superiores a los 4 000 metros por encima del nivel del mar,
    2. en lugares donde la temperatura del aire ambiente supere 60 °C,
    3. a una temperatura de funcionamiento superior a 400 °C,
    4. en lugares donde la temperatura del aire ambiente sea inferior a – 30 °C para cualquier motor o inferior a 0 °C para un motor con un sistema de refrigeración por agua.
    5. en condiciones en las que la temperatura del agua del refrigerante en la entrada de un producto sea inferior a 0 °C o superior a 32 °C, o
    6. en atmósferas potencialmente explosivas, tal como se definen en la Directiva 94/9/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (*);
d) motores-freno.

Cronograma de aplicación

1) a partir del 16 de junio de 2011, el nivel de rendimiento de los motores no podrá ser inferior al nivel de rendimiento IE2, conforme se define en las tablas de Rendimientos nominales mínimos (η) para el nivel de rendimiento IE2 (anexo I, punto 1, cuadro 1 del Reglamento);

2) a partir del 1 de enero de 2015:
    a. los motores con una potencia nominal de 7,5-375 kW no podrán tener un nivel de rendimiento inferior al nivel de rendimiento IE3 (tabla de rendimientos nominales mínimos (η) para el nivel de rendimiento IE3, anexo I, punto 1, cuadro 2 del Reglamento), o al nivel IE2, definido en el anexo I, punto 1, y estar equipados de un mando de regulación de velocidad;
3) a partir del 1 de enero de 2017:
    a. todos los motores con una potencia nominal de 0,75-375 kW no podrán tener un nivel de rendimiento inferior al nivel de rendimiento IE3, definido en el anexo I, punto 1, o al nivel IE2, definido en el anexo I, punto 1, y estar equipados de un mando de regulación de velocidad.

Tablas de rendimientos señalados en el Reglamento

Tabla 10: Rendimientos nominales mínimos (η) para el nivel de rendimiento IE2 (50 Hz)

Potencial nominal (kW)	Número de polos		
	2	4	6
0,75	77,4	79,6	75,9
1,1	79,6	81,4	78,1
1,5	81,3	82,8	79,8
2,2	83,2	84,3	81,8
3	84,6	85,5	83,3
4	85,8	86,6	84,6
5,5	87	87,7	86
7,5	88,1	88,7	87,2
11	89,4	89,8	88,7
15	90,3	90,6	89,7
18,5	90,9	91,2	90,4
22	91,3	91,6	90,9
30	92	92,3	91,7
37	92,5	92,7	92,2
45	92,9	93,1	92,7
55	93,2	93,5	93,1
75	93,8	94	93,7
90	94,1	94,2	94
110	94,3	94,5	94,3
132	94,6	94,7	94,6
160	94,8	94,9	94,8
200 hasta 375	95	95,1	95

Tabla 11: Rendimientos nominales mínimos (η) para el nivel de rendimiento IE3 (50 Hz)

Rendimientos nominales mínimos (η) para el nivel de rendimiento IE3 (50 Hz)			
Potencial nominal (kW)	Número de polos		
	2	4	6
0,75	80,7	82,5	78,9
1,1	82,7	84,1	81
1,5	84,2	85,3	82,5
2,2	85,9	86,7	84,3
3	87,1	87,7	85,6
4	88,1	88,6	86,8
5,5	89,2	89,6	88
7,5	90,1	90,4	89,1
11	91,2	91,4	90,3
15	91,9	92,1	91,2
18,5	92,4	92,6	91,7
22	92,7	93	92,2
30	93,3	93,6	92,9
37	93,7	93,9	93,3
45	94	94,2	93,7
55	94,3	94,6	94,1
75	94,7	95	94,6
90	95	95,2	94,9
110	95,2	95,4	95,1
132	95,4	95,6	95,4
160	95,6	95,8	95,6
200 hasta 375	95,8	96	95,8

3.2 Estados Unidos

Descripción del proceso

El establecimiento de estándares para motores en EE.UU. se establece en el Acta de Independencia Energética y Seguridad (EISA) de 2007 y que fue actualizada en 2010. Ésta es una ley política energética que se compone de disposiciones destinadas a incrementar la eficiencia energética y la disponibilidad de energías renovables. La Ley de Independencia Energética y Seguridad de EE.UU. de 2007 establece los niveles de eficiencia nominal a plena carga para motores eléctricos para los Estados Unidos.

El estándar de eficiencia energética en Estados Unidos se basa en las normas NEMA. Eficiencias Inferiores a High Efficiency están restringidas de importación y comercialización, en aquellas clases de motores donde aplica MEPS.

Características de los motores a los que aplica el MEPS

El Acta de Independencia Energética y Seguridad de 2007 (EISA) y revisada el 2010, esboza una serie de requisitos para los motores fabricados después del 19 de diciembre de 2010. El artículo 313 de EISA se refiere en particular a los motores eléctricos. La legislación EISA define los siguientes tipos de motores:

- Los motores de propósito general 1 a 200 hp (2,4,6 polos) - Subtipo I que deben tener eficiencia mínima NEMA Premium idéntica a IE3
- Motor de uso general de 201 a 500 hp (2,4 y 6 polos) - Subtipo II, que deben tener una eficiencia mínima equivalente a IE2
- Motores de 1–500 HP de 8 polos que deben contar con eficiencia mínima IE2**.**

Motores excluidos

- Motores Diseño D
- Convertidores de Fase
- Multi-velocidad
- De 10 polos y el recuento de los polos superiores
- Motores sumergibles
- Motores de 50Hz
- TEBC , TEAO , DPFV , TENV
- Motores inversores Especial V / Hz
- Montaje OEM
- Monofásicos
- Con extensiones de eje especiales

En general EISA excluye motores no estándar o de aplicaciones especiales

Cronograma de aplicación

Los Motores fabricados o importados en EE.UU. deben cumplir con los requisitos de EISA a partir del 19 de diciembre de 2010.

3.3 China

Descripción del proceso

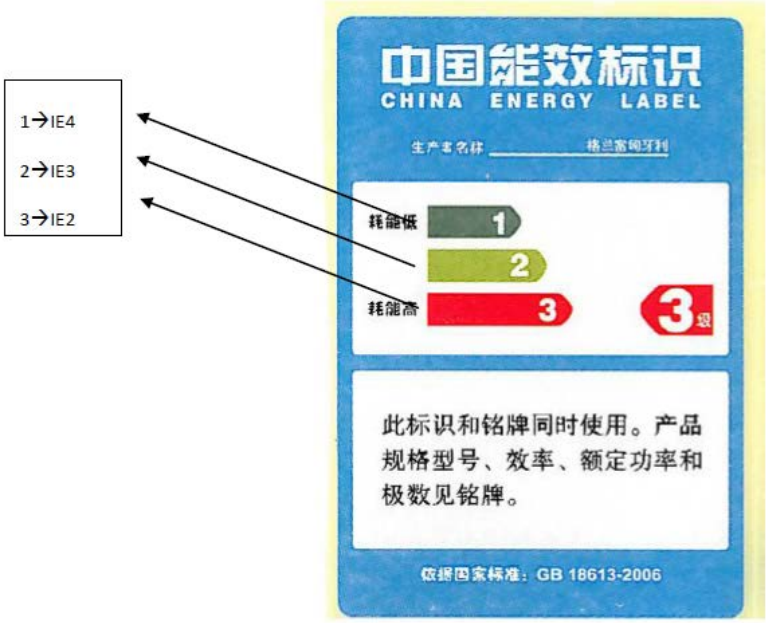
Las normas mínimas de rendimiento energético (MEPS) desarrollados para China definen los niveles mínimos de eficiencia energética, con las pruebas y la aprobación para el etiquetado según

el Instituto Nacional Chino de Normalización (CNIS). China ha establecido grados de eficiencia energética nacionales obligatorias mínimas para motores en IE2.

Los MEPS chinos basados en el estándar GB18613-2012 establecen los valores mínimos permitidos de eficiencia energética.

China ha optado por crear sus propios grados de eficiencia del 1 al 3, a través de un etiquetado en su idioma, en donde el grado 1 es el de más alta eficiencia y es igual al IE4 (que aún no está normado o equivale a >IE3), el grado 2 es igual a IE3 y el grado 3 es igual a IE2. Siendo el mínimo permitido IE2 o grado 3.

Imagen 3: Etiqueta China con un MEPS asociado a IE2 (nivel 3)



Características de los motores a los que aplica el MEPS

El MEPS chino establece los requisitos mínimos de eficiencia energética para motores en China y también dan la definición de los grados de eficiencia energética de China.

Los MEPS para motores asíncronos trifásicos se introdujeron por primera vez en China, 1ero de julio 2011, pero se han actualizado posteriormente con el propósito de estar alineados con la norma IEC 60034-30 e IEC 60034-2-1.

El estándar chino GB18613-2012 establece requerimientos para motores eléctricos de uso general o motores a prueba de explosión que clasifican dentro de las siguientes características:

- Potencias entre 0,55 a 315 kW
- 3 ~ motores de CA (2 polos , 4 polos y 6 polos)

- 50 Hz trifásico de corriente alterna (AC) de alimentación
- Motores estándar y motores estándar protegidos contra explosiones, diseño N, voltaje de 690 V o menor.

Motores excluidos

Los motores que pueden ser excluidos de la legislación son los motores que no entran dentro del ámbito descrito anteriormente, tales como:

- Motores de polos conmutables
- Motores que han sido diseñados para una tensión nominal superior a 690 V.

Cronograma de aplicación

Los MEPS chinos establecen el requisito de eficiencia como mínimo de grado 3, a partir de enero de 2013. El cual se representa con la etiqueta para demostrar el cumplimiento de la ley. Esta etiqueta debe ser colocada en el motor, tanto para la producción nacional como para las importaciones, antes de que estos entren al país.

Sólo aquellos motores que han sido enviados a China para probar y verificar los niveles de eficiencia requeridos pueden ser registrados y aprobados para ser vendidos y utilizados en China. Luego de la certificación se puede colocar la etiqueta en los motores.

3.4 Brasil

Descripción del proceso

El Reglamento Nº 553 establece los requisitos mínimos de eficiencia para los motores a un nivel casi idéntico al de los valores IE2. Brasil presentó normas obligatorias de rendimiento energético mínimos (MEPS) para motores de inducción de jaula de ardilla trifásicos, con efecto a partir del 8 de diciembre de 2009.

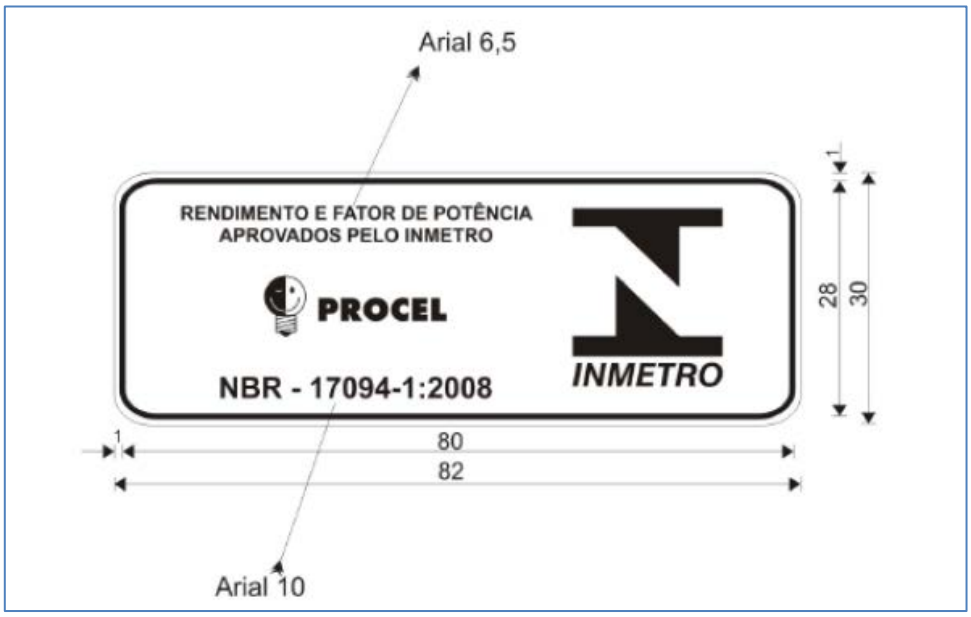
Los MEPS en Brasil establecen exigencias de prueba y homologación de acuerdo con el Instituto de Metrología Nacional - INMETRO (Instituto Nacional Brasileño de Metrología).

En diciembre de 2009, Brasil presentó la etiqueta MEPS para demostrar el cumplimiento con la legislación brasileña MEPS. Los niveles de eficiencia mínimos establecidos por los MEPS brasileños son casi idénticos a los niveles de eficiencia IE2 60Hz definidos en la norma IEC 60034-30, y así mismo el método de ensayo brasileño para medir la eficiencia de motor es similar (con algunas diferencias) a la norma IEC 60034-2-1.

Un cierto número de motores debe ser enviado a Brasil para verificar que los motores cumplen con la eficiencia declarada por el fabricante del motor. No todos los motores necesitan ser probados, sólo algunos modelos de la gama completa.

Cuando los motores han sido probados y aprobados, recién se les permite a los fabricantes de motores montar la etiqueta de aprobación INMETRO MEPS en el motor, acción que es obligatoria para demostrar el cumplimiento con la legislación MEPS y cumplir así los niveles de eficiencia mínimos exigidos por la regulación brasileña.

Imagen 4: Etiqueta Inmetro



Cada año INMETRO elige aleatoriamente algunos motores eléctricos para la verificación de la eficiencia.

Los motores que han sido probados por el INMETRO pueden registrarse en el sitio web de INMETRO indicando sus parámetros eléctricos característicos.

Características de los motores a los que aplica el MEPS

El reglamento MEPS para Brasil incluye a los motores de inducción eléctricos tipo jaula de ardilla.

Otros motores eléctricos definidos a continuación están cubiertos por MEPS brasileños:

- 1,0 a 250 CV (0,75 a 185 kW): 2 , 4, 6 y 8 polos
- Servicio S1 (servicio continuo)
- AC de 3 fases motores de 60 Hz , tensión nominal de hasta 600V
- Frecuencia nominal de 60 Hz o 50 Hz a 60 Hz. ;
- Una velocidad de una o varias velocidades, tasados para operar en una sola velocidad nominal
- NEMA A, B , C o equivalente
- Motores que no produzcan chispas en atmósferas explosivas.

Exclusiones

- Motores de velocidad múltiple
- Funcionamiento a velocidad intermitente o variable.
- Ciclos de trabajo S2 -S10
- Motores IP23.
- Motores refrigerados por agua.
- Motores con VSD
- Servomotores y motores de imanes permanentes
- Motores DIP para atmosferas explosivas

Cronograma de aplicación

La legislación MEPS en Brasil exige que a partir de 12 de diciembre 2009 sólo motores con niveles similares a IE2 o superior puedan instalarse en Brasil.

3.10 Resumen

La importancia de los sistemas motrices en el consumo de energía a nivel mundial ha impulsado a que una gran cantidad de países tengan vigentes estándares mínimos de eficiencia energética para motores.

La implementación y nivel seleccionado depende de las características de cada mercado, pero lo que se observa es que se tiende a la armonización de las normas a nivel global.

A continuación se presenta un resumen de los MEPS alrededor del mundo

Tabla 12: Resumen Europa, EE.UU., China y Corea

	Europa	Estados Unidos	China	Corea
Nombre Legislación	Ecodesign Directive 2009/125/EC, (Commission Regulation 640/2009)	The Energy Independence and Security Act of 2007 (Sec. 313)	Chinese standard GB 18613-2012	MKE(Ministry of Knowledge Economy)'s Notification 2012-124
Requerimientos de eficiencia	Valores de eficiencia: IEC 60034-30. Metodo de testeo: IEC 60034-2-1. IE2: 16 Junio 2011 IE3: 01 Enero 2015 (7.5–375 kW) IE3: 01 Enero 2017 (0.75–375 kW)	Valores de eficiencia: NEMA MG 1 (comparable con IEC 60034-30) Metodo de testeo: IEEE 112 method B (comparable con IEC 60034-2-1) NEMA Premium = IE3 NEMA Energy Efficiency = IE2	Valores de eficiencia: IEC 60034-30. Metodo de testeo: IEC 60034-2-1. China Grade 3 = IE2 (Obligatorio) China Grade 2 = IE3 (Voluntario)	Valores de eficiencia: IEC 60034-30. Metodo de testeo: IEC 60034-2-1. IE2: 01 Enero. 2013. 0.75-200 kW(incluído) (2, 4 and 6-polos) and 0.75-200 kW (8-polos)

		(solo para motores claramente eximidos)		
Etiquetado obligatorio	Marca "CE" en la placa	Placa debe estar marcada con "CC122B"	Etiqueta de Energía China (CEL por su sigla en inglés) Etiqueta aparte en el motor	Etiqueta de grado de eficiencia energética. Etiqueta aparte en el motor
Etiqueta voluntaria	No	No	No	No
Cronograma de Implementación de la ley	En partes:16 Junio 2011, 01 Enero 2015, 01 Enero 2017	19 Diciembre 2010	01 Enero 2013	01 Enero 2013
Etiquetas	CE	CC 122B		

Tabla 13: Resumen Australia, Nueva Zelanda, Brasil, México y Canadá.

	Australia/Nueva Zelanda	Brasil	México	Canadá
Nombre Legislación	AS/NZS 1359:5:2004	Regulation "Portaria Interministerial No. 553" from 9 December 2005	Mexican standard NOM-016-ENER-2010	Canada Gazette, Part II SOR/DORS-2011-182, Amendment 11
Requerimientos de eficiencia	Valores de eficiencia: AS/NZS 1359:5:2004 Son cercanos, pero no igual es a IEC 60034-30. (IE2 es menos eficiente que los niveles exigidos en AS/NZS MEPS para los motores pequeños de 2 y 4 polos). Metodo de testeo: IEEE 112 metodo B. Comparable con IEC 60034-2-1. Eficiencia: Similar a IE2 at 50 Hz.	Valores de eficiencia: Decreto Brasilero "Portaria no. 174" Son cercanos, pero no igual es a IEC 60034-30 Metodo de testeo: Párrafo 15.4.2 "variation of method 2" del estándar NBR 5383-1:2002. Es similar, pero no identico al IEEE 112 metodo B o el metodo indirecto en IEC 60034-2-1:2007 con el PLL determinado por medidas. Eficiencia: Similar a IE2 at 60 Hz.	Valores de eficiencia a 60 Hz: NEMA MG 1 comparable con IEC 60034-30. Metodo de testeo: Sección 9 del NOM-016-ENER-2010, parcialmente equivalente a IEEE 112 metodo B y a CAN/CSA C390. (Comparable con IEC 60034-2-1) NEMA Premium = IE3	Valores de eficiencia: NEMA MG 1 comparable con IEC 60034-30. Método de testeo: CAN/CSA C390-10 comparable con IEEE 112 metodo B e IEC 60034-2-1. NEMA Premium = IE3 NEMA Energy Efficiency = IE2 (Solo para motores claramente eximidos)
Etiquetado	No tiene. Para	La etiqueta brasilera	No tiene. Para	Debe mostrarse

obligatorio	cumplir debe estar en el registro.	"INMETRO" en la placa o por separado.	cumplir debe estar en el registro.	en la placa con la marca "cURus ENERGY". (o similar)
Etiqueta voluntaria	No	Etiqueta voluntaria brasilera para promover equipos más eficientes que los obligatorios	Aquellos registrados enNOM-016-ENER-2010 pueden llevar el simbolo del organismo certificador en la placa u otro lado.	No
Cronograma de Implementación de la ley	01 abril 2006	08 diciembre 2009	19 diciembre 2010	12 abril 2012
Etiquetas	No tiene		No tiene	

4. Evaluación de alternativas para estándar mínimo de eficiencia energética para motores

4.1 Antecedentes

El Ministerio de Energía licitó el estudio denominado "Evaluación del impacto técnico económico para la implementación de estándares mininos de eficiencia energética en motores eléctricos" con el objetivo de contar con una evaluación independiente y objetiva de los diferentes impactos de implementar un estándar mínimo de eficiencia energética en motores. La licitación se adjudicó a River Consultores, quienes realizaron el estudio en conjunto con el Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) de California, EEUU.

El análisis final está basado en el uso del Modelo PAMS, en el estudio de ingeniería de motores realizado recientemente en el mercado norteamericano de motores, por el LBNL, los resultados de la encuesta de Motores realizada por River Consultores para el Mercado de Motores de 1-500 hp, mesas de trabajo, y reuniones de socialización del estudio con la industria.

La propuesta para un estándar de eficiencia energética para motores eléctricos se basa en la norma chilena NCh3086 2008 y el Protocolo Análisis y/o Ensayos de Eficiencia Energética de Producto Eléctrico para Motor trifásico de inducción tipo jaula de ardilla PENº7/01/2 2011.

El sustento legal para la definición de los estándares mínimos de eficiencia energética se encuentra en la Ley Nº 20.402 promulgada el 25-11-2009 que crea el Ministerio de Energía, estableciendo modificaciones al DL Nº 2.224, de 1978 y a otros cuerpos legales.

El artículo 4º, letra h) señala como atribución del Ministerio de Energía: "Fijar, mediante resolución, los estándares mínimos de eficiencia energética que deberán cumplir los productos, máquinas, instrumentos, equipos, artefactos, aparatos y materiales que utilicen cualquier tipo de recurso energético, para su comercialización en el país."

El reglamento que da operación a la Ley anteriormente citada, fue aprobado por medio del Decreto 97 que "Aprueba Reglamento que establece el procedimiento para la fijación de estándares mínimos de eficiencia energética y normas para su aplicación", este reglamento fue publicado en el Diario Oficial de la República de Chile el lunes 14 de Mayo de 2012.

4.2 Alcance

Se entiende por alcance del estándar mínimo de eficiencia energética al segmento del mercado de motores para el cual resulta relevante. Para analizar esta variable en el estudio se definieron cuatro rangos de potencia, escogiendo un tipo de motor representativo para cada uno de dichos segmentos. La tabla siguiente resume los rangos de potencia, los motores representativos de cada rango y las categorías estándar y eficiente utilizadas para determinar el alcance.

Tabla 14: Rangos de potencia representativos

Rangos de Potencia (X)	Potencia Representativa	Estándar actual de la industria	Oportunidades Upgrade Eficiencia
1 HP ≤ X ≤ 10 HP	5,5 HP	IE1 – C	IE2 – B, IE3 – A
10 HP < X ≤50	30 HP	IE1 – C	IE2 – B, IE3 – A
50 HP < X ≤100	75 HP	IE1 – C	IE2 – B, IE3 – A
100 HP < X ≤500	150 HP	IE1 – C	IE2 – B, IE3 – A

El estudio consideró como escenario principal el actual rango de etiquetado, es decir, el primer rango de potencia de hasta 10 HP. Los escenarios alternativos serán evaluados considerando la evidencia internacional respecto de la efectividad de introducir la regulación a un rango más amplio de motores.

4.3 Metodología

Para los rangos definidos previamente se evalúa la factibilidad económica de reemplazar los motores instalados por otros de mayor eficiencia según se define en el PENº7/01/2 2011, o equivalentemente en la Norma IEC60034-30, de acuerdo con la correspondencia presentada anteriormente. Para realizar esta evaluación se utilizó la metodología desarrollada por el Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). A través de dicha metodología se realiza un análisis técnico-económico para evaluar los impactos de implementar los MEPS, la cual se encuentra recogida en la herramienta denominada PAMS, (Policy Analysis Modeling System), desarrollada por LBNL para el Programa Colaborativo para el Etiquetado y Estándares de Artefactos (CLASP).

Para realizar el análisis técnico-económico, PAMS requiere definir una serie de parámetros que caractericen el mercado local y la economía del país. Para efectos del análisis en desarrollo, se

utilizaron los valores que se presentan en la tabla a continuación, los cuales fueron definidos en base a los análisis desarrollados por el equipo del LBNL liderado por Virginie E. Letschert, en base al análisis de la información del mercado nacional:

Tabla 15: Parámetros utilizados en evaluación

Variable	Parámetro utilizado			
1. Motores				
a. Potencia Motor	5,5 HP	30 HP	75 HP	150 HP
b. Eficiencia Motor Base IE1	84.7%	90.7%	92,7%	93,8%
c. Eficiencia Motor IE2	87.7%	92.3%	94.0%	94.7%
d. Eficiencia Motor IE3	89.6%	93.6%	95.0%	95.6%
e. Vida Útil (años)	5	10	10	15
f. Horas de Uso	6.017	6.371	6.357	6.402
g. Factor de carga	57%	59%	62%	62%
2. Mercado Motores				
a. Participación por Rango	58%	27%	12%	9%
b. Precios de Mercado Motor Base IE1 (USD)	544	1567	3177	5117
c. Aumento de Precio para Motor IE2 desde IE1 (USD)	24.2%	21.4%	19.2%	19.2%
d. Aumento de Precio para Motor IE3 desde IE1 (USD)	52.0%	48.6%	43.4%	43.4%
3. Variables Económicas				
a. Tasa de Descuento Consumidor	9%-15%	9%-15%	9%-15%	9%-15%
b. Tasa de Descuento País	6%	6%	6%	6%

Estos valores se obtuvieron desde distintas fuentes. La información de los motores, las eficiencias, los niveles de uso, etc., se obtuvieron del análisis realizado por el LBNL, en base a las estadísticas de uso que obtienen de la industria estadounidense. Se considera que debido al gran tamaño de esta industria, estos valores representan mucho mejor los usos estándar a los que se someten los distintos motores.

Los niveles de eficiencia se obtienen de los valores establecidos en la norma IEC 60034-30, los que también se utilizan en el procedimiento de etiquetado de motores de la SEC. Los valores de eficiencia representativos de la situación actual se obtuvieron a partir de las declaraciones de ventas de motores y sus eficiencias respectivas, encuesta River Consultores 2014.

Los valores representativos del mercado nacional, como precios de motores y las variaciones al aumentar nivel de eficiencia, se obtuvieron de los proveedores de motores a nivel nacional, por medio de la encuesta presentada anteriormente. Puntualmente, los precios de motores base de obtuvieron por medio de cotizaciones como “cliente incógnito”, dado que los precios entregados por las empresas entrevistadas en encuesta excedían largamente los precios de motores típicos cotizados de manera formal.

Finalmente, las tasas de descuento se obtuvieron de la información publicada por el Banco Central y bancos nacionales.

Utilizando estos parámetros, PAMS calcula los costos y beneficios de los estándares desde dos perspectivas complementarias. Desde el punto de vista individual, entrega el Costo del Ciclo de Vida (Life Cycle Cost - LCC), que evalúa el valor los costos y beneficios de comprar y utilizar un motor eléctrico eficiente en vez de uno poco eficiente para toda la vida útil del motor, desde la perspectiva de los usuarios individuales.

A nivel agregado, la perspectiva nacional del proyecto incluye los costos y beneficios para el país. Este cálculo es el llamado Valor Presente Neto (Net Present Value - NPV), el cual corresponde al valor presente de los ahorros de energía menos los aumentos en inversiones para todos los motores de la industria. A esto se suma que PAMS también calcula la mitigación total de emisiones, en Toneladas de CO2, el uso evitado de combustible, medido en Toneladas de Petróleo Equivalentes (Tons of Oil Equivalent), y la capacidad de generación evitada, en MW, a las cuales también se les podría definir un beneficio económico.

Para este cálculo en particular, PAMS requiere que se ingresen estimaciones de ventas futuras de motores en el país, ya que esto se realiza agregando los ahorros de Costo de Ciclo de Vida para todos los motores vendidos en un año en particular.

Las ventas de motores en el país para el periodo de análisis se estimaron en base a las importaciones de motores, obtenidas desde las bases de datos de Aduanas, y el valor del PIB para el año de la importación. Para esto, se consideró que los motores importados un año son vendidos durante el mismo. Así, se realizó una correlación entre importación y PIB industrial del País, lo que nos permite estimar las futuras ventas dado un escenario de crecimiento.

Datos de importaciones y del PIB

El universo de motores potencialmente sujetos a MEPS, corresponde a aquellos motores trifásicos, ciclo S1, con potencias entre 1hp y 500 hp, y con ciertas exclusiones técnicas tipificadas previamente.

La política de MEPS aplica sólo a la venta de nuevos motores en el país, por lo que se definió utilizar los registros de importaciones de Aduana para aquellos motores en las categorías de 1 a 500 hp, como fuente de información de la venta anual de motores.

De las bases de aduana se tomaron las glosas que contienen a los motores sujetos a regulación de MEPS, según el detalle siguiente.

Tabla 16: Registros de Aduanas

Glosa Aduanera	Descripción	Rango equivalente
85015210	De potencia superior a 750W pero inferior a 7.5kW	Rango 1 – 1 a 10 hp
85015220	De potencia superior a 7.5kW	Rango 2 – >10 a 50 hp

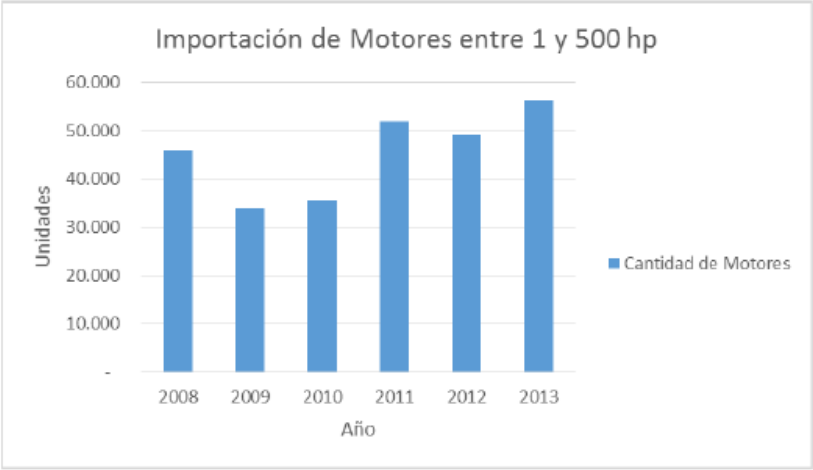
	pero inferior a 37kW	
85015290	De potencia superior a 35kW pero inferior a 75kW	Rango 3 – >50 a 100 hp
85015391	De potencia superior a 75kW pero inferior a 150kW	Rango 4 – >100 a 500 hp
85015392	De potencia superior a 150kW pero inferior a 375kW	Rango 4 – >100 a 500 hp

Luego de esto, es necesario limpiar estas bases, ya que incluyen motores que de acuerdo a estándar, no es aplicable MEPS. Esto se debe a distintas situaciones. Las principales son:

- Motores ingresados erróneamente en estas bases. Un porcentaje considerable de estas corresponden a motores monofásicos, de tracción, o de corriente continua. Esto se eliminó contactando telefónicamente a cada una de las empresas importadoras relevantes en base de datos, y/o aquellos motores donde el campo descripción de la base de datos aduanas permitía definir claramente que no aplicaban.
- Motores correctamente clasificados pero no se incluyen bajo la norma. Parte de los motores que se incluyen en estas glosas corresponde a servomotores, motores sumergibles, motores diseñados para ascensores o equipos similares, motores diseñados para trabajar con VSD o integrados a reductores, etc.

Luego de limpiadas las bases se obtienen los valores finales de importaciones. Estos se observan en el gráfico siguiente.

Gráfico 7: Importación de motores para los últimos 6 años.



Fuente: Estudio RIVER en base a importaciones de Aduanas

Se obtuvieron los valores de PIB del país desde las estadísticas del Banco central y el Banco de Chile. A esto se agregaron las estimaciones de crecimiento del país para el periodo de evaluación del estudio.

Con todos estos datos se procede a hacer la simulación del impacto del MEPS. En primer lugar se evalúa el Costo del Ciclo de Vida, que considera en su análisis el incremento de los costos entre motores eléctricos eficientes y motores eléctricos estándar, y los ahorros de energía que se producen al introducir la mejora tecnológica. En esta evaluación se calcula el costo de vida que implica un motor de eficiencia estándar y el costo de uno eficiente, luego se calcula cuánto disminuyeron los costos al aumentar la eficiencia. En las tablas siguientes se muestran los valores del Costo de ciclo de vida (LCC) para cada uno de los rangos evaluados, considerando las diversas alternativas tecnológicas disponibles dado el escenario inicial (BAU). Es decir, se evalúa pasar de un motor de eficiencia base C (IE1), a uno más eficiente, ya sea B (IE2) o A (IE1).

Se sensibilizan los resultados usando dos tasas de descuento. Primero se asume una tasa de descuento de 9%, obtenida de la tasa de interés comercial que publica el Banco Central de Chile, y en segundo lugar se asume una tasa de descuento de 15%. En ambos casos, los valores del LCC son positivos y sustentan el recambio tecnológico aun considerando usuarios con tasas de descuento más altas.

Tabla 17: Ahorro de Ciclo de Vida (LCC) asociado al acceso a tecnología más eficiente, tasa de descuento 9% (USD)

RANGO	Ahorro descontado 9% (USD) MEPS Clase B (IE2)	Ahorro descontado 9% (USD) MEPS Clase A (IE3)
≤10 HP	$141	$154
10 HP < X ≤50	$952	$1540
50 HP < X ≤100	$2024	$3233
100 HP < X ≤500	$3581	$6821

Tabla 18: Ahorro de Ciclo de Vida (LCC) asociado al acceso a tecnología más eficiente, tasa de descuento 15% (USD)

RANGO	Ahorro descontado 15% (USD) MEPS Clase B (IE2)	Ahorro descontado 15% (USD) MEPS Clase A (IE3)
≤10 HP	4104	$93
10 HP < X ≤50	$669	$1034
50 HP < X ≤100	$1446	$2220
100 HP < X ≤500	$2314	$4310

En el siguiente gráfico se puede apreciar la magnitud de los beneficios de comprar un motor más eficiente versus sus costos.

Gráfico 8: Valor ahorrado por los usuarios al comprar un motor más eficiente

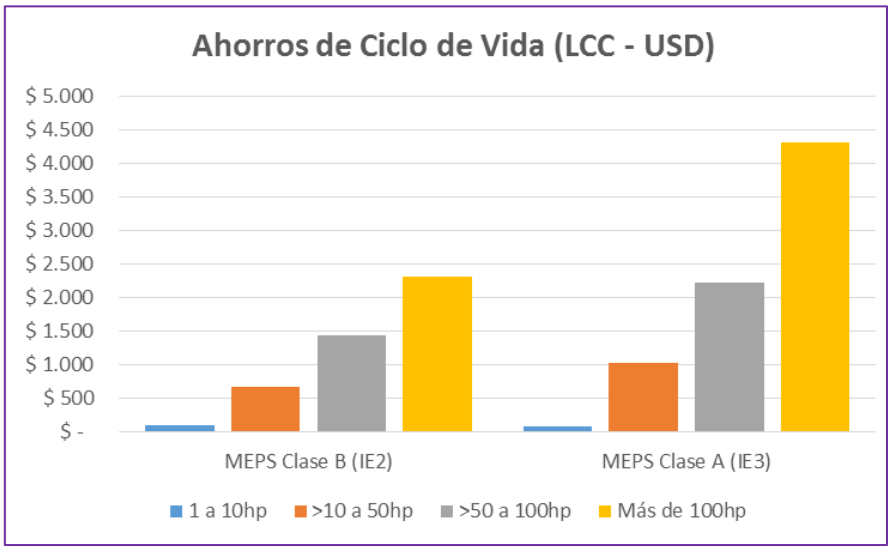
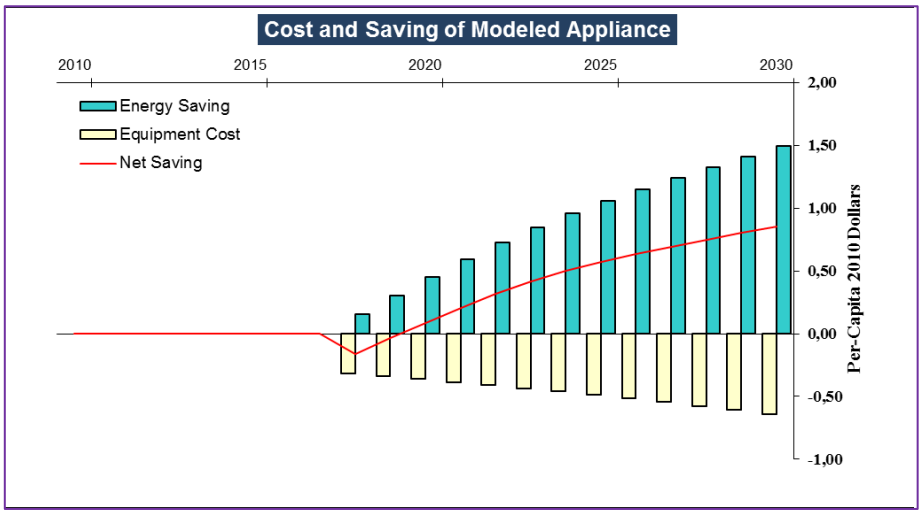


Gráfico 9: Resultado modelo PAMS para el rango de 1 a 10 hp con MEPS IE2 - B. Se puede apreciar los ahorros versus los costos.



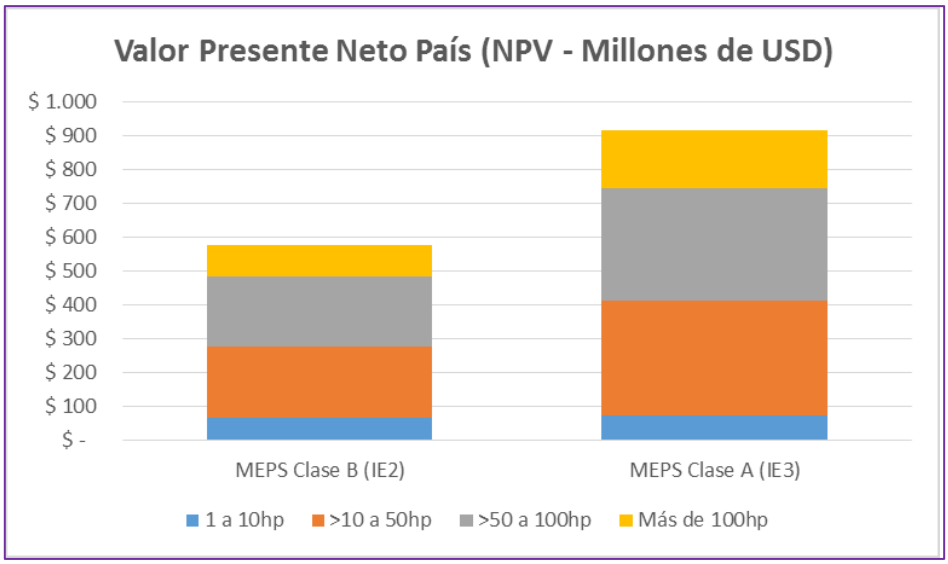
Los beneficios agregados a nivel país corresponden a la suma de los beneficios de los consumidores a nivel individual, incluyendo variables como la tasa de crecimiento del país, como driver de la evolución de mercado de motores, y la tasa de descuento social. En la tabla y gráfico siguientes se presentan los valores del valor presente neto asociado a cada una de las alternativas evaluadas.

Tabla 18: Valor presente neto asociado al acceso a tecnología más eficiente (Millones de USD)

RANGOS	VPN País (Millones de USD) MEPS B (IE2)	VPN País (Millones de USD) MEPS Clase A (IE3)
≤10 HP	$67.2	$72.5
10 HP < X ≤50	$210.4	$340.2
50 HP < X ≤100	$206.8	$330.3

100 HP < X ≤500	$91.0	$173.3

Gráfico 10: Valor Presente Neto obtenido por el País, en caso de definir un MEPS a un nivel fijo para todo el rango de moto



4.4 Recomendación inicial de estándar mínimo de eficiencia energética para motores

De los ejercicios anteriores se desprende que, a nivel técnico-económico, los beneficios a nivel privado y nacional aumentan cuando se imponen estándares más estrictos.

Este análisis se basa en los escenarios basales descritos y no contempla sensibilización, lo que se analizará en el capítulo siguiente.

Siguiendo ese argumento, se justificaría económicamente tomar el camino para alcanzar el nivel de eficiencia más alto posible en este caso A-IE3, y como medida de eficiencia mínima (MEPS) en un nivel B-IE2, considerando que la industria se encuentra en niveles de eficiencia C-IE1, o en ciertos casos inferiores.

Tabla 19: Evaluación

Rangos de Potencia (X)	Motor representativo	Estándar actual de la industria	MEPS	Beneficio Presente Neto (Millones USD)
≤10 HP	5,5 HP	C-IE1	B-IE2	67.2
10 HP < X ≤50	30 HP	C-IE1		210.4
50 HP < X ≤100	75 HP	C-IE1		206.8
100 HP < X ≤500	150 HP	C-IE1		91.0
Total				575

La decisión de optar por un MEPS A-IE3, la cual se justifica económicamente pero puede tener complicaciones adicionales por los pocos países que aún se encuentran en dichos niveles de eficiencia mínima, lo cual de pretenderse una homologación de certificación y el uso de la experiencia internacional haría el proceso chileno más caro. A modo de ejemplo, China proveedor de motores chilenos, tiene un MEPS a la fecha en IE2.

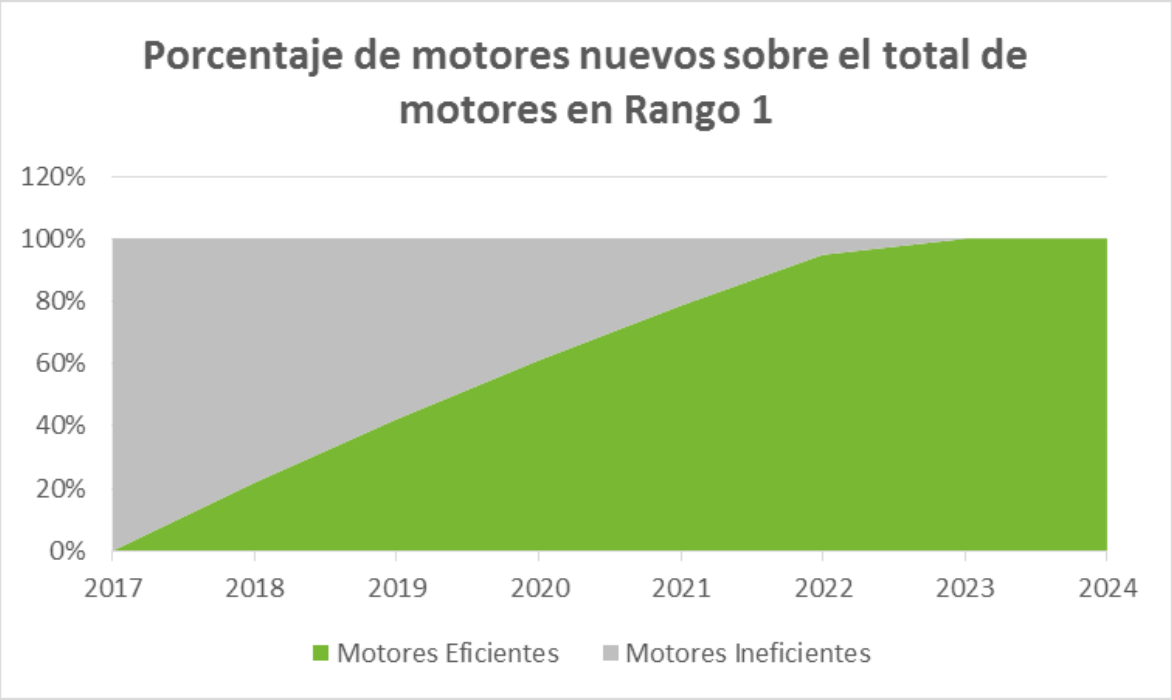
4.5 Stock de motores: casos BAU Y de política pública

En el caso BAU se asume que no existirá recambio de motores estándar por motores eficientes, considerando el nulo efecto que ha tenido el etiquetado de eficiencia energética en la participación de mercado de estos últimos años (resultados encuesta Motores River Consultores 2014). En el escenario con política pública, se haría efectivo el MEPS desde 2017.

RANGO 1: ≤10 HP

Debido a que se estima un corto tiempo de vida para los motores con potencia inferior a 10HP, 5 años, en este rango el MEPS penetra rápidamente el mercado, sacando de circulación los motores ineficientes en solo 6 años a partir de su implementación.

Gráfico 11: Aumento de motores eficientes vs no eficientes en el tiempo, para el primer rango de potencias



RANGO 2 Y 3: 10 HP < X ≤50 - 50 HP < X ≤100

Para estos dos rangos de potencia se estima una vida útil para los motores de 10 años en promedio. Bajo este supuesto, el mercado se torna eficiente luego de 10 años de introducido el MEPS.

Gráfico 12: Aumento de motores eficientes vs no eficientes en el tiempo, para el segundo rango de potencias.

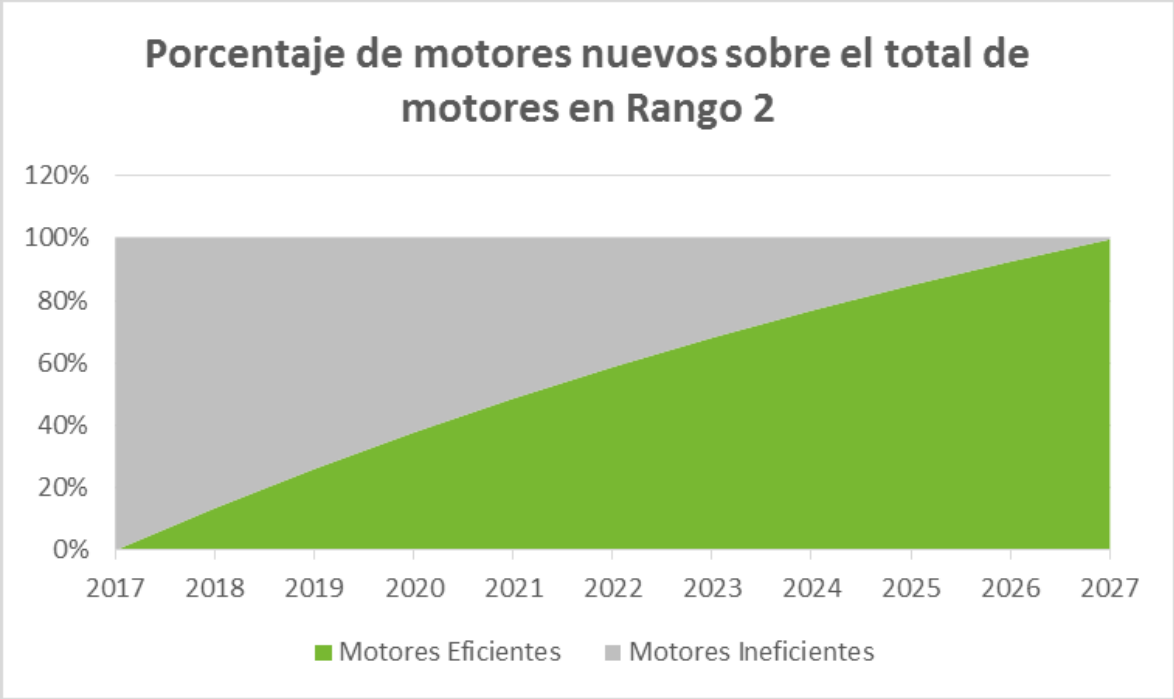
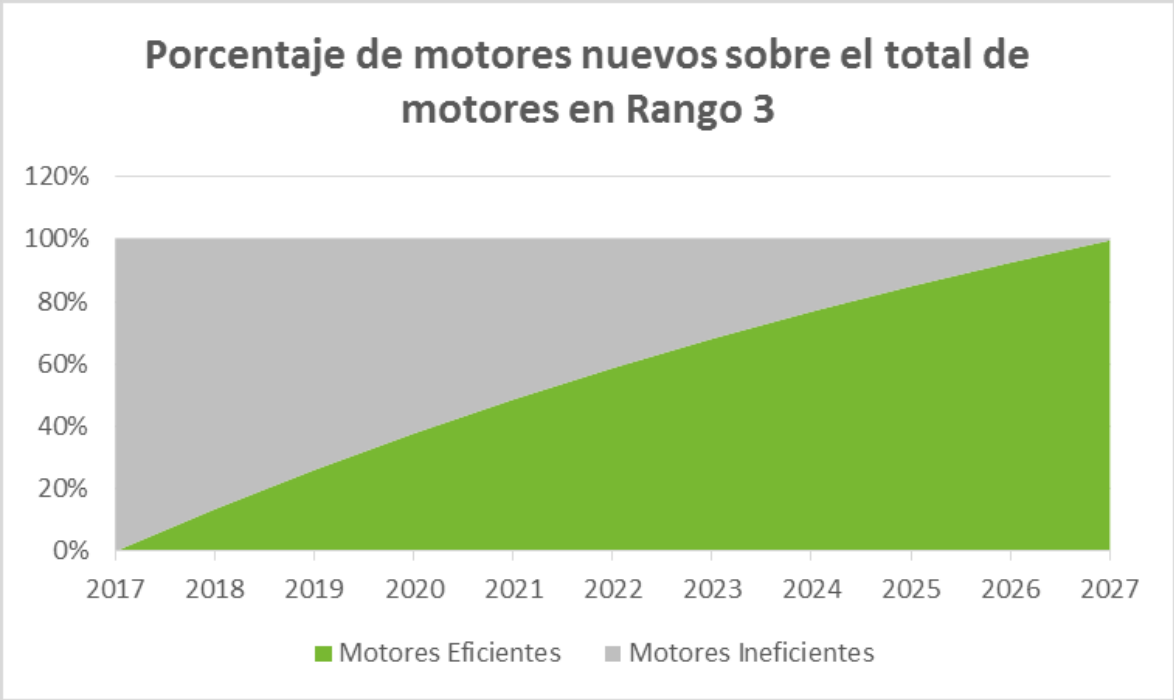


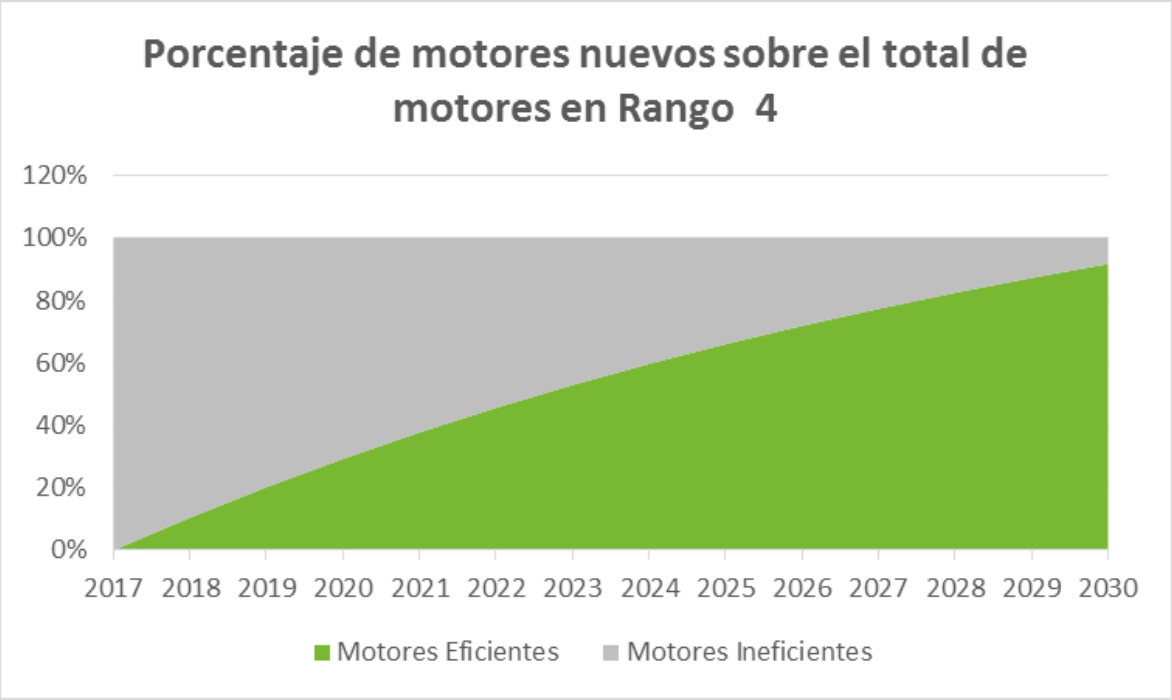
Gráfico 13: Aumento de motores eficientes vs no eficientes en el tiempo, para el tercer rango de potencias



RANGO 4: 100 HP < X ≤500

Los motores de mayor potencia tienen una vida útil más alta que en el caso de los más pequeños, estimándose una vida útil de 15 años en promedio. Bajo este supuesto, el mercado no alcanza a volverse completamente eficiente durante el horizonte de evaluación.

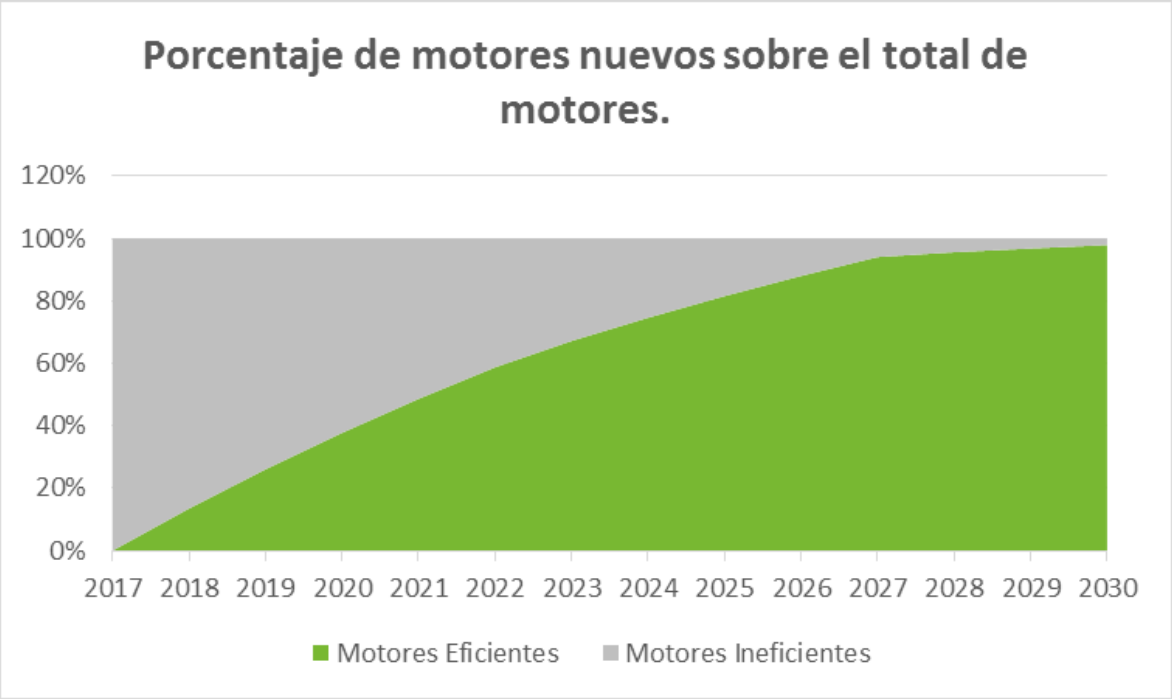
Gráfico 14: Aumento de motores eficientes vs no eficientes en el tiempo, para el cuarto rango de potencias.



RANGO COMPLETO

Si se aplicara el MEPS para el rango completo de motores del país, como se recomienda en este estudio, la penetración de los motores eficientes en el mercado corresponde a la suma de los escenarios anteriores, tal como se muestra en el gráfico siguiente. Es así como hasta 2030 no alcanza a volverse completamente eficiente.

Gráfico 15: Aumento de motores eficientes vs no eficientes en el tiempo, para el rango completo de potencias.



4.6 Análisis de impactos a nivel nacional

Los principales impactos que se calculan a nivel nacional son: Ahorros en la generación de energía; Ahorros de energía primaria; Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; Beneficios Nacionales del Consumidor; y la Capacidad de Generación evitada. Para mayor información respecto de estos cálculos, referirse al Anexo.

Ahorros en Uso de energía (NES): estimación de los resultados de los ahorros en términos energéticos a nivel nacional en el lugar en que se consume la energía en GWh.

Ahorros de Energía Primaria (PES): se calculan de a partir de los ahorros en la generación de energía (NES), teniendo en cuenta la mezcla de combustible en la generación de electricidad y las pérdidas por transmisión y distribución (T&D), en Toneladas de Petróleo Equivalentes.

Reducción de Emisiones: total de reducciones de CO2 en millones de toneladas (Mt) se calcula de acuerdo al mix de generación de electricidad característico de la matriz energética nacional.

Beneficios Nacionales del Consumidor: el Valor Presente Neto (NPV) de la política es calculado de acuerdo al costo total adicional pagado por los motores eficientes, los ahorros de electricidad en las cuentas, y la tasa de descuento nacional aplicada a la evaluación del programa.

Capacidad de Generación Evitada: La capacidad evitada se calcula en el año donde los ahorros son de mayor importancia y representan la potencia instantánea ahorrada a nivel nacional durante el peak de consumo. Se debe incluir la energía que se pierde en transmisión y distribución.

Tabla 20: Impactos a nivel nacional

	Rango 1	Rango 2	Rango 3	Rango 4	Total
Ahorros en uso de energía (Net Energy Savings - NES) (GWh)	1.856	3.389	3.207	1.177	9.629
Ahorros de Energía Primaria (Primary Energy Savings – PES) (Mtoe)	0,289	0,528	0,500	0,183	1,5
Reducción de emisiones (MT)	1,10	2,01	1,.9	0,7	5,71
Capacidad de Generación Evitada (MW)	48	94	89	35	266

4.7 Análisis de sensibilidad

Para verificar la robustez de los resultados se realizó un análisis de sensibilidad a los valores de los Ahorros de Ahorros del ciclo de vida (LCC) y del Valor presente neto (NPV).

4.7.1 Sensibilidad ahorros de ciclo de vida

Para efectuar el análisis de los LCC se utilizó el software @Risk, primero asignando una distribución de probabilidades a las variables independientes del modelo, para luego realizar 10.000 simulaciones de Montecarlo, lo que permite tener una mejor visión de cuánto pueden variar los beneficios individuales de los usuarios durante el ciclo de vida de los motores, cuando se encuentran sujetos a la variabilidad de los parámetros a los cuales son sensibles.

Además, a través de análisis de tornado, entrega información sobre cuáles son aquéllas variables preponderantes en la varianza del LCC.

Parámetros sensibilizados

El objetivo de la sensibilización de estos parámetros fue visualizar el posible impacto que escenarios negativos puedan tener sobre la política, de manera que permita a la autoridad tomar

una decisión informada, cuantificando y tomando acciones de mitigación sobre los sectores afectados.

Los parámetros sensibilizados son:

- Año de Implementación
- Tasa de descuento del consumidor
- Crecimiento anual del precio de la energía
- Precio motor eficiencia base (IE1 - C)
- Horas anuales de uso del motor
- Años de vida útil del motor

Es importante destacar que los precios de la energía fueron sensibilizados de acuerdo a las condiciones declaradas en la Agenda de Energía, que declara la intención de reducir fuertemente los precios de la energía en la próxima década, con el fin de someter al modelo a las peores condiciones posibles, para efectos de un MEPS este escenario es más conservador que uno de incremento de los precios de la energía.

De igual modo, se contempló analizar los motores en rangos de horas anuales de uso inferiores a 1,000 horas al año, con el fin de determinar las condiciones de borde en las cuales los consumidores observan escenarios de rentabilidad negativas.

Tabla 21: Rango 1 – motores de potencia entre 1 y 10 hp

Nombre	Hoja de cálc	Celda	Gráfico	Mín	Media	Máx	5%	95%
Año de Implementación	Summary	F11	2.015,5 2.018,5	2016	2017	2018	2016	2018
Tasa del Consumidor	User Inputs	I33	8% 16%	8%	12%	16%	10%	14%
Crecimiento anual del precio de la Energía	User Inputs	O10	-4% 4%	-3,5%	0,0%	3,5%	-3,2%	3,2%
Precio Motor Eficiencia IE1	User Inputs	S11	490 500	490	544	598	495	593
Horas Anuales de Uso	User Inputs	S15	0 9.000	878,06	4.463,57	7.996,61	1.803,76	7.095,48
Años de Vida Útil	User Inputs	Z18	3 11	4	6	10	4	9

Tabla 22: Rango 2 – motores de potencia >10 y hasta 50 hp

Nombre	Hoja de cálc	Celda	Gráfico	Mín	Media	Máx	5%	95%
Año de Implementación	Summary	F11	2.015,5 2.018,5	2016	2017	2018	2016	2018
Tasa del Consumidor	User Inputs	I33	7% 16%	8%	12%	16%	10%	14%
Crecimiento anual del precio de la Energía	User Inputs	O10	-4% 4%	-3,5%	0,0%	3,5%	-3,2%	3,1%
Precio Motor Eficiencia IE1	User Inputs	T11	1.400 1.750	1410	1567	1724	1429	1705
Horas Anuales de Uso	User Inputs	T15	0 9.000	876,96	4.463,57	7.997,48	1.803,72	7.095,57
Años de Vida Útil	User Inputs	Z18	4 16	5	10	15	6	14

Tabla 23: Rango 3 – motores de potencia >50 y hasta 100 hp

Nombre	Hoja de cálc	Celda	Gráfico	Mín	Media	Máx	5%	95%
Año de Implementación	Summary	F11	2.015,5 2.018,5	2016	2017	2018	2016	2018
Tasa del Consumidor	User Inputs	I33	7% 16%	8%	12%	16%	10%	14%
Crecimiento anual del precio de la Energía	User Inputs	O10	-4% 4%	-3,5%	0,0%	3,5%	-3,2%	3,1%
Precio Motor Eficiencia IE1	User Inputs	U11	2.800 3.500	2859	3177	3495	2898	3456
Horas Anuales de Uso	User Inputs	U15	0 9.000	876,32	4.463,57	7.996,81	1.803,79	7.095,53
Años de Vida Útil	User Inputs	Z18	4 16	5	10	15	6	14

Tabla 24: Rango 4 – motores de potencia >100 y hasta 500 hp

Nombre	Hoja de cálc	Celda	Gráfico	Mín	Media	Máx	5%	95%
Año de Implementación	Summary	F11	2.015,5 2.018,5	2016	2017	2018	2016	2018
Tasa del Consumidor	User Inputs	I33	8% 17%	8%	12%	17%	10%	14%
Crecimiento anual del precio de la Energía	User Inputs	O10	-4% 4%	-3,5%	0,0%	3,5%	-3,2%	3,1%
Precio Motor Eficiencia IE1	User Inputs	V11	4.600 5.800	4605	5117	5629	4667	5567
Horas Anuales de Uso	User Inputs	V15	0 9.000	879,98	4.463,57	7.998,64	1.803,44	7.095,71
Años de Vida Útil	User Inputs	Z18	8 22	10	15	20	11	19

Variabilidad de los resultados

En los siguientes gráficos se muestran los valores obtenidos al aplicar las distribuciones de probabilidad especificadas anteriormente a las variables independientes. Para cada caso se especifica la probabilidad de que se obtengan ahorros.

Gráfico 16: Variabilidad para rango 1 – motores de potencia entre 1 y 10 hp

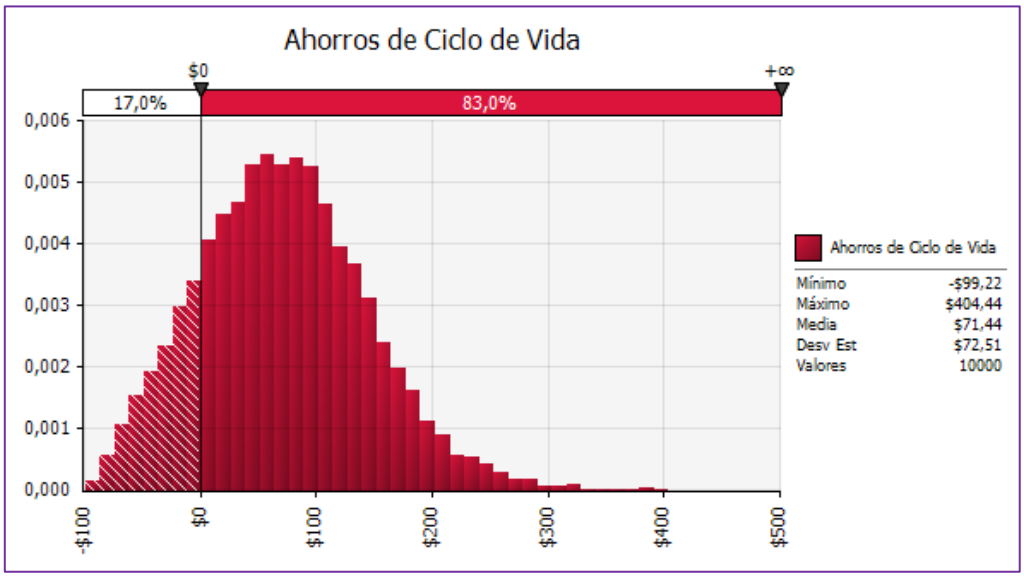


Gráfico 17: Variabilidad para rango 2 – motores de potencia >10 y hasta 50 hp

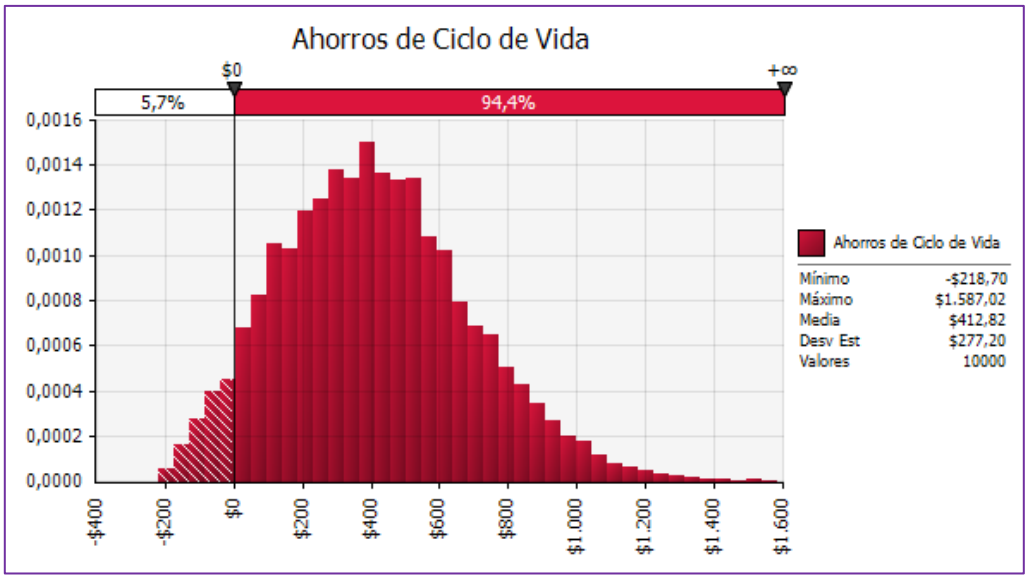


Gráfico 18: Variabilidad para rango 3 – motores de potencia >50 y hasta 100 hp

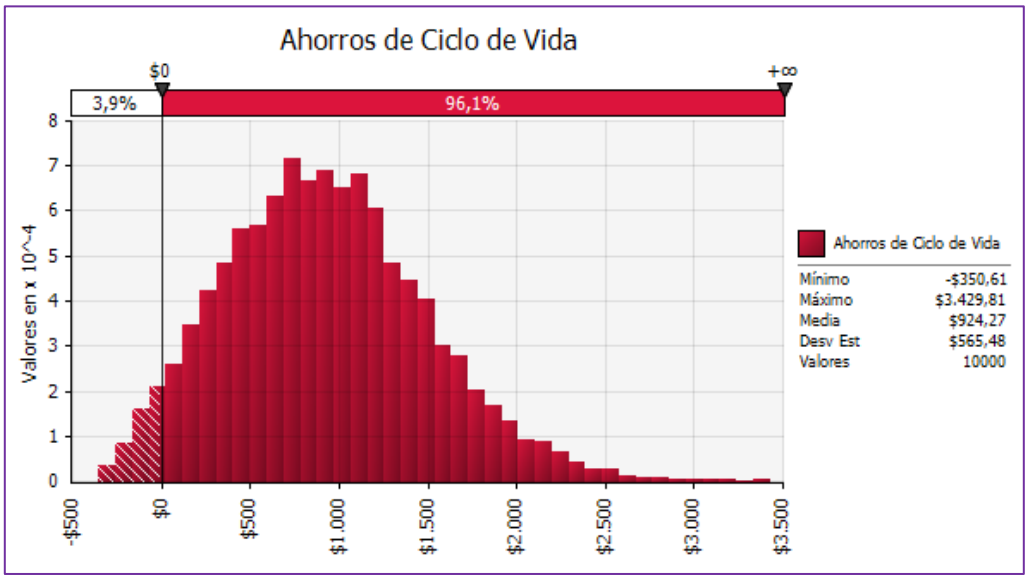
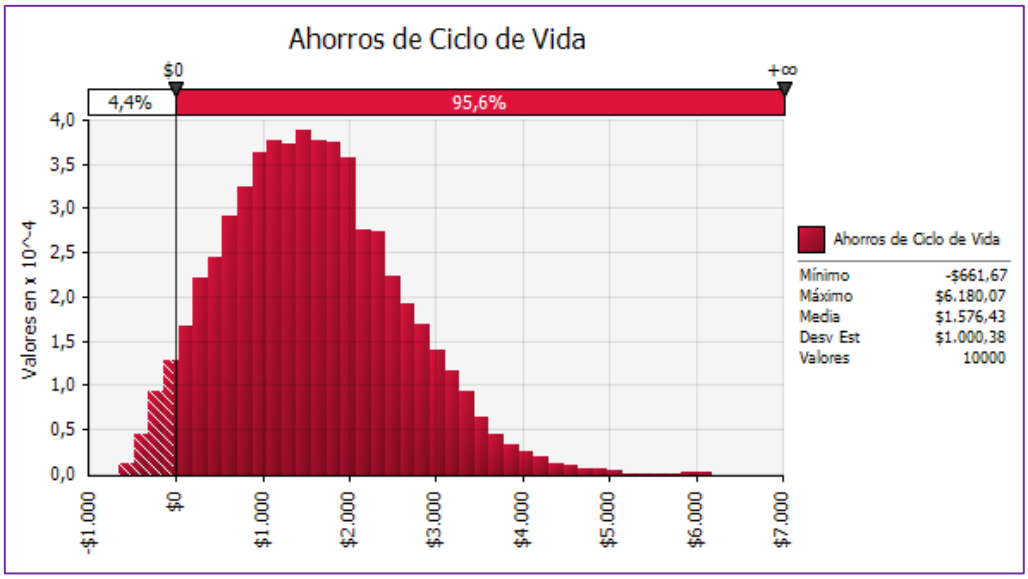


Gráfico 19: Variabilidad para rango 4 – motores de potencia >100 y hasta 500 hp



Los resultados anteriores se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 25: Resumen variabilidad de ahorros

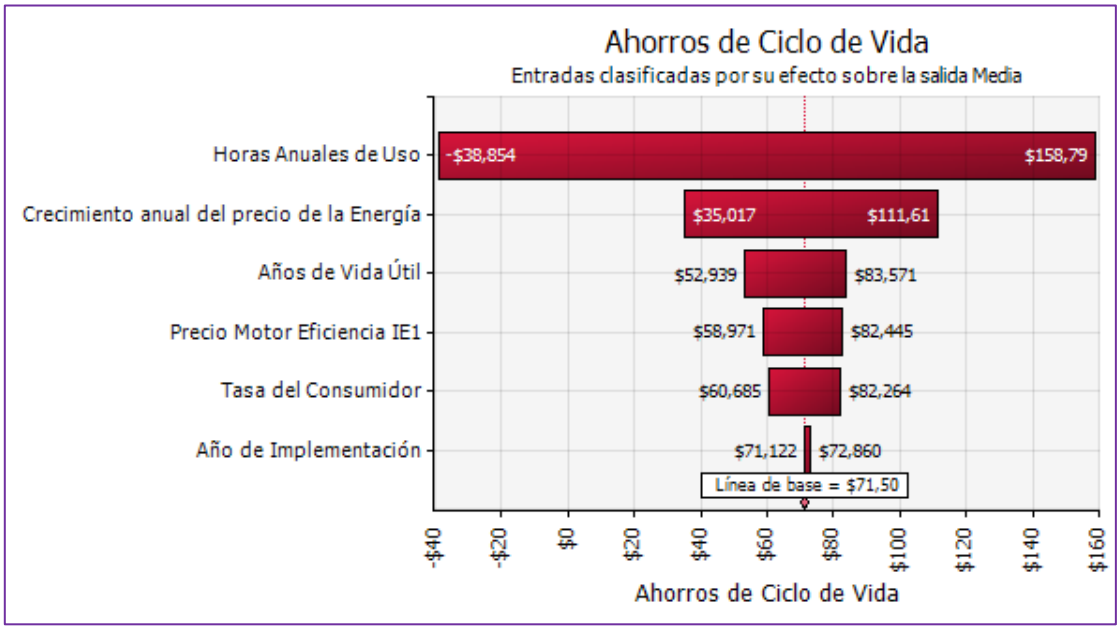
Ahorro de ciclo de vida (USD)				
	Caso base	Min	Máx	Porcentaje de escenarios con ahorros positivos
Rango 1	$104	$-99	$404	83%
Rango 2	$669	$-218	$1587	94%
Rango 3	$1446	$-351	$3430	96%
Rango 4	$2314	$-662	$6180	96%

Para el Rango 1, por ejemplo, podemos ver el valor en el caso base es de USD 104, pero, al aplicar variabilidad sobre las variables independientes, el rango para los valores de LCC fluctúa entre USD -99 y USD 404. Esto quiere decir que existe la probabilidad de que, bajo ciertas circunstancias, esta medida implique costos a algunos usuarios. Más específicamente, se puede ver que en un 83% de los casos la medida implicará ahorros, mientras que en un 17% de estos implicará costos. Para los rangos superiores de potencia, el porcentaje de casos en que los usuarios incurren en costos disminuye notoriamente.

Análisis de tornado

A través de este análisis se logra identificar aquéllas variables independientes que influyen en mayor medida a la variabilidad de los Ahorros de Ciclo de Vida en cada rango de análisis, representado por aquella variable que se encuentra posicionada más arriba en el gráfico. A continuación se presentan los resultados para el primer rango en análisis.

Gráfico 20: Análisis de tornado rango 1 – motores de potencia entre 1 y 10 hp



Se puede ver que el ahorro que obtienen los usuarios de motores con este MEPS está claramente determinado por las horas anuales de uso. Esto es sumamente lógico, ya que mientras menos se use el motor menos rentable será.

A continuación, los gráficos siguientes muestran el resultado del análisis de tornado aplicado a los Ahorros de Ciclo de Vida en los demás rangos bajo análisis. De estos se desprenden similares conclusiones de las relatadas para el rango inicial, manteniendo la importancia relativa de las variables antes mencionadas sobre los ahorros de los usuarios.

Gráfico 21: Análisis de tornado rango 2 – motores de potencia entre >10 y 50 hp

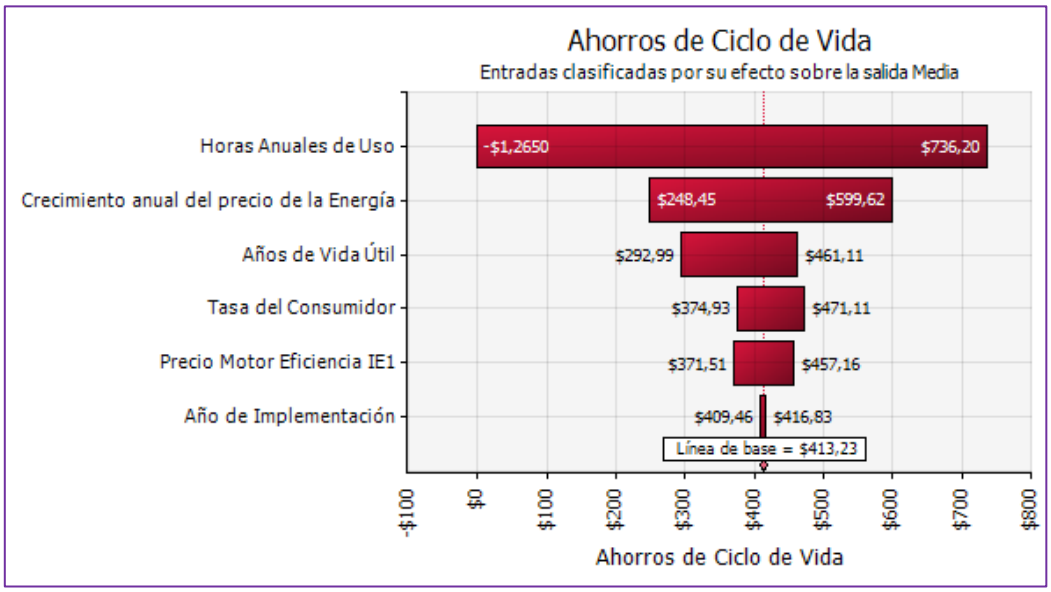


Gráfico 22: Análisis de tornado rango 3 – motores de potencia entre >50 y 100 hp

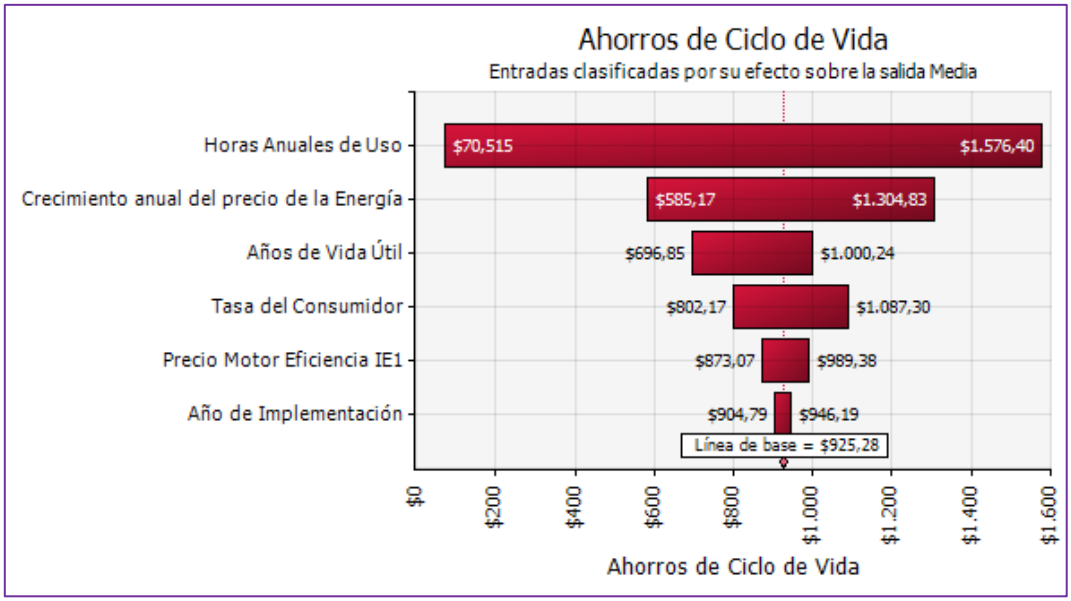
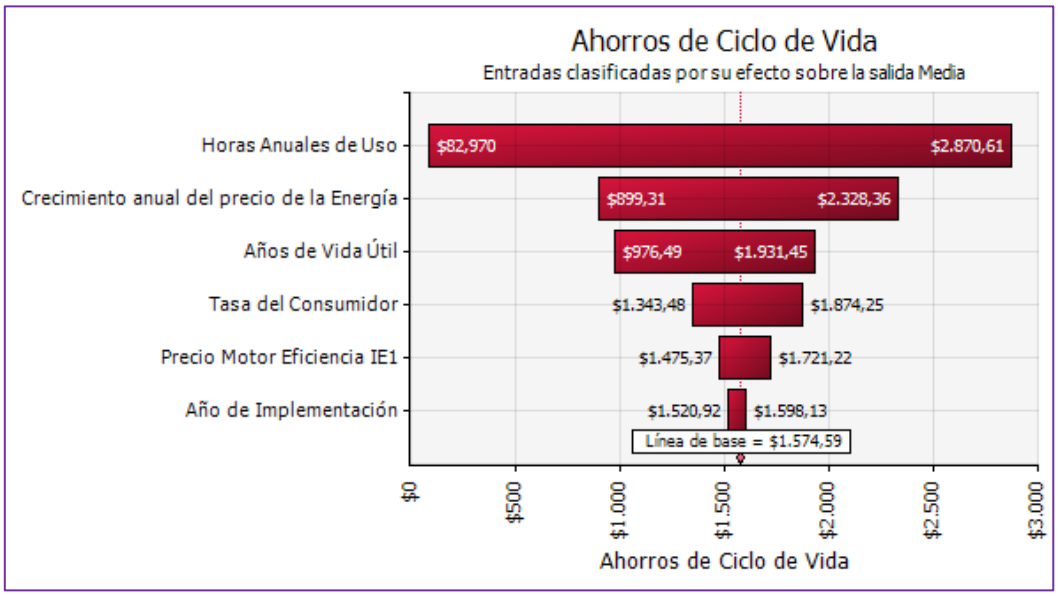


Gráfico 23: Análisis de tornado rango 4 – motores de potencia entre >100 y 500 hp



4.8 Conclusiones y recomendaciones del estudio

Las siguientes son las conclusiones y recomendaciones entregadas por los consultores para la definición de un estándar mínimo de eficiencia energética para motores.

- El análisis para la introducción de MEPS en Chile, utilizando la metodología PAMS, demuestra que esta opción de política es favorable y robusta a variaciones en los parámetros de referencia.
- A partir del análisis de riesgo analizado, se observa que políticas de disminución de precio de la electricidad, recientemente declaradas y un MEPS en motores no son incompatibles.
- No obstante, a partir del análisis de riesgo realizado, aquellos usuarios, con motores con pocas horas de uso anual, y altas tasas descuento individual, no se verán motivados a pagar por un motor más eficiente. Esto es más evidente en el rango de motores 1-10 hp donde se estima que se concentran los consumos de industrias PYMES. Puede ser este un foco de análisis para la autoridad para un programa focalizado en este sector que respalde el delta de precio del motor.
- Si bien la solicitud original del Ministerio de Energía dice relación con aquellos motores cuya potencia alcanza los 10 HP, en base al análisis realizado, en conjunto con la revisión de la experiencia internacional, muestran de manera consistente que el beneficio individual y nacional es mayor al ampliar el espectro de motores sujetos a la regulación hasta la gama total regulable (1-500 hp). De hecho, el sector 1-10 hp regulado es aquel que menos beneficio aporta y que ve menos beneficios individuales debido a que sus ahorros individuales y agregados son menores, sus horas de uso se estiman menores, y las tasas de descuento de pymes son más altas. A esto se suma la tendencia internacional de

a dar mayor flexibilidad en tiempo y exigencias a los motores más pequeños que a los motores de mayores potencias, eso va en línea contraria a la aplicación actual de certificación (y en consecuencia mayores costos y exigencias) para el rango de motores de 1 a 10 hp como está actualmente aplicado el protocolo SEC.

- Dado que un MEPS apunta a definir el estándar mínimo a partir del cual se observan beneficios, este primer nivel correspondería a un MEPS en clase B (IE2). Niveles inferiores C (IE1) ya son línea base en la gran mayoría de la industria. A (IE3) es una alternativa económica y de mayor VAN y es definición de la Autoridad definir si desea localizar el estándar en este nivel, con las ventajas y desventajas que implica.
- Especial atención debe darse a la regulación del MEPS ya que existe alta tasa potencial de eludir un MEPS si este no tiene la solidez regulatoria y recursos para fiscalización que lo respalde. La SEC tiene un rol clave en esta materia y es necesario aunar un criterio al respecto de ésta aplicación en particular.
- Especial atención debe darse a los requerimientos de certificación. La homologación de certificación internacional es una opción no abierta en los protocolos actuales, y se hace necesario explorar la flexibilidad necesaria para que los beneficios individuales y país no queden atrapados en recertificaciones. La experiencia internacional apunta hacia ello, y Chile no debiese restarse de los beneficios de la homologación.

5. Propuesta de implementación de un estándar mínimo de eficiencia energética para Chile

Considerando las recomendaciones surgidas del estudio “Evaluación del impacto técnico económico para la implementación de estándares mininos de eficiencia energética en motores eléctricos” y las condiciones actuales del mercado de motores, así como las normas y protocolos que regulan los procesos de certificación para los motores en Chile es que se propondrá el estándar mínimo de eficiencia energética y su cronograma de aplicación.

Tomando en cuenta la Norma NCh3086 de 2008 que establece la clasificación y etiquetado de eficiencia energética de los motores eléctricos de inducción trifásicos de baja tensión con rotor jaula de ardilla.

El protocolo de ensayo de eficiencia energética para motores eléctricos definido por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, protocolo PE N°7/01/2, fue publicado en diciembre de 2008, utilizando como normas de referencia la norma IEC 60034-2-1 (2007) para los ensayos, y la NCh 3086 para la etiqueta de eficiencia energética.

El protocolo establece el procedimiento de certificación y etiquetado de eficiencia energética para motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla, de acuerdo al siguiente alcance:

- Frecuencia: 50 Hz
- Tensión: Que puedan funcionar a 380 Volts, entre otras combinaciones, motores marcados como 220/380, 400/600, 400/690 Volts
- Velocidad: Una velocidad nominal
- Número de polos: 2, 4 y 6 polos
- Potencia: Desde 0,75 hasta 7,5 kW
- Ciclo de servicio: S1 (de acuerdo a clasificación de la norma IEC 60034-1)
- Tipo de envolvente: Abierta o cerrada (> IP21) con autoventilación

Quedan excluidos del alcance

- Motores fabricados especialmente para la operación con convertidor de acuerdo con la norma IEC60034-25
- Motores con freno electromagnético o manual

La propuesta de estándar mínimo de eficiencia energética es la siguiente:

- No se podrán emitir Certificados de Aprobación para su comercialización en el país a aquellos motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla, que estén bajo obligatoriedad de certificación en seguridad y eficiencia energética, que tengan una clasificación energética inferior a "B" transcurridos 9 meses desde la dictación de la resolución, lo que es equivalente a que solamente se podrán emitir Certificados de Aprobación para su comercialización en el país a aquellos motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla que cumplan con igualar o superar un índice de eficiencia energética de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 26: Rendimientos mínimos exigidos para motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla

Motores de 50 Hz. Motores de rendimiento mayor o igual que los valores indicados en esta tabla podrán ser comercializados en Chile.			
	Número de polos		
Potencial nominal (kW)	2	4	6
0,75	78,9	81,1	75,9
1,1	80,8	82,7	78,1
1,5	82,3	83,9	79,8
2,2	84	85,3	81,8
3	85,3	86,3	83,3
4	86,4	87,3	84,6
5,5	87,5	88,2	86
7,5	88,5	89,1	87,2

6. Anexos

6.1 Clasificación eficiencia energética en base a norma chilena NCh3086

Tabla Motores de 50 Hz Clase A

Motores de 50 Hz Clase A. Motores de rendimiento mayor o igual que los valores indicados			
	Número de polos		
Potencial nominal (kW)	2	4	6
0,75	82,1	84	80,6
1,1	83,8	85,3	82,4
1,5	85	86,3	83,8
2,2	86,4	87,5	85,4
3	87,5	88,4	86,6
4	88,4	89,2	87,7
5,5	89,4	90	88,7
7,5	90,3	90,8	89,7
11	91,2	91,7	90,8
15	91,9	92,3	91,6
18,5	92,4	92,7	92,1
22	92,7	93,1	92,5
30	93,3	93,6	93,1
37	93,7	94	93,5
45	94	94,3	93,9
55	94,3	94,5	94,2
75	94,7	95	94,7
90	95	95,2	94,9
110	95,2	95,4	95,2
132	95,4	95,6	95,4
160	95,6	95,8	95,6
200 a 370	95,8	96	95,8

Tabla Motores de 50 Hz Clase B

Motores de 50 Hz Clase B. Motores de rendimiento mayor o igual que los valores indicados en esta tabla y menor que los valores indicados en Tabla para motores de clase A			
	Número de polos		
Potencial nominal (kW)	2	4	6
0,75	78,9	81,1	75,9
1,1	80,8	82,7	78,1
1,5	82,3	83,9	79,8
2,2	84	85,3	81,8
3	85,3	86,3	83,3
4	86,4	87,3	84,6
5,5	87,5	88,2	86
7,5	88,5	89,1	87,2
11	89,6	90,1	88,7
15	90,5	90,9	89,7
18,5	91	91,4	90,4
22	91,4	91,7	90,9
30	92,1	92,4	91,7
37	92,5	92,8	92,2
45	92,9	93,1	92,7
55	93,3	93,5	93,1
75	93,8	94	93,7
90	94,1	94,2	94
110	94,3	94,5	94,3
132	94,6	94,7	94,6
160	94,8	94,9	94,8
200 a 370	95,1	95,1	95

Tabla Motores de 50 Hz Clase C

Potencial nominal (kW)	Número de polos		
	2	4	6
0,75	72,1	72,1	70
1,1	75	75	72,9
1,5	77,2	77,2	75,2
2,2	79,7	79,7	77,7
3	81,5	81,5	79,7
4	83,1	83,1	81,4
5,5	84,7	84,7	83,1
7,5	86	86	84,7
11	87,6	87,6	86,4
15	88,7	88,7	87,7
18,5	89,3	89,3	88,6
22	89,9	89,9	89,2
30	90,7	90,7	90,2
37	91,2	91,2	90,8
45	91,7	91,7	91,4
55	92,1	92,1	91,9
75	92,7	92,7	92,6
90	93	93	92,9
110	93,3	93,3	93,3
132	93,5	93,5	93,5
160	93,8	93,8	93,8
200 a 370	94	94	94

Motores de 50 Hz Clase D. Motores de rendimiento menor que los valores indicados en Tabla para motores de clase C.

6.2 Supuestos y fórmulas utilizadas para el cálculo de los resultados en modelo PAMS

Los siguientes datos fueron recolectados en orden a desarrollar el análisis técnico-económico:

- Precios de venta, eficiencia y categoría de potencia en el mercado.

- Datos de uso (cantidad de horas por año)

- Datos de importaciones de motores, y penetración de modelos eficientes en el mercado.

Usando estos datos, PAMS calculó los costos y beneficios de los estándares de eficiencia energética desde dos perspectivas diferentes:

- El cálculo del Costo del Ciclo de Vida (LCC) que examina costos y beneficios para un equipo en particular, desde el punto de vista de su usuario.

- La Perspectiva Nacional que considera los impactos totales a nivel nacional de los costos y beneficios, desde el punto de vista del Estado. Los cálculos de la Perspectiva Nacional son llamados cálculos de Ahorros Nacionales de Energía (NES) y Valor Presente Neto (NPV). PAMS también calcula el total de emisiones mitigadas y la capacidad de generación evitada.

COSTO DE CICLO DE VIDA

Este está dado por:

$$LCC = EC + \sum_{n=1}^{L} \frac{OC}{(1+DR)^n}$$

Donde EC es el costo del equipo (precio de venta en retail), n es en número de años de operación, OC es el costo anual de operación, y DR es la tasa de descuento del consumidor. El Costo de operación es sumado cada año del ciclo de vida del producto L. El costo de operación es calculado al multiplicar la Unidad de Consumo Energético (UEC, en kWh al año, es decir, multiplicado por un factor igual a 365/1000) por el precio de la energía (P, en dólares por kWh) como sigue:

$$OC = UEC \times P$$

La Unidad de Consumo Energético se asume constante año a año, mientras que el precio de la energía aumenta según un factor que será sensibilizado. El hecho que los costos futuros son menos importantes que los costos de corto plazo se toma en cuenta al dividir los costos futuros de operación por un factor de descuento (1+DR).

IMPACTOS NACIONALES

A nivel nacional se calculan cuatro beneficios

AHORRO DE ENERGÍA NETOS EN EL LUGAR DE USO (NES) Y VALOR ACTUAL NETO (NPV)

PAMS Calcula NES según la siguiente formula.

$$NES = NEC_{Base} - NEC_{MEPS}$$

Donde NEC_{Base} corresponde al consumo neto de energía en el caso base, es decir, sin que se implemente el MEPS, y NEC_{MEPS} es el consumo neto de energía en el caso de implementar el MEPS. Este valor se multiplica por el precio de la energía de cada año.

A esto se le suma el aumento de costo y gasto nacional debido al aumento del precio de compra de los motores en cada año y las ventas de motores en cada año en particular, las cuales fueron proyectadas con base en las importaciones, como se explicó anteriormente.

Así, teniendo el aumento de costo por compra de motores y los ahorros causados por aumento de eficiencia, se descuentan estos flujos a la tasa de descuento nacional, para obtener el Valor Actual Neto NPV.

LOS AHORROS DE ENERGÍA PRIMARIA (PES)

Estos se calculan de a partir de los NES, teniendo en cuenta la mezcla de combustible en la generación de electricidad y las pérdidas por transmisión y distribución (T&D). La fórmula para PES es:

$$PES = \frac{NES}{(1 - TD)} \times HR$$

Donde TD es la fracción de energía pérdida en transmisión y distribución, y HR es la tasa de electricidad producida en sistemas térmicos (heat rate).

REDUCCIÓN DE EMISIONES

Total de reducciones de CO2 en millones de toneladas (Mt) se calcula de acuerdo a la emisión media por kWh generado en el país al momento del estudio.

Los ahorros en emisiones de dióxido de carbono (CES) son calculados desde los ahorros de energía, aplicándose un factor de carbono a los ahorros de acuerdo a:

$$CES = \frac{NES}{(1 - TD)} \times CF$$

CAPACIDAD DE GENERACIÓN EVITADA

La capacidad evitada se calcula en el año donde los ahorros son de mayor importancia y representan la potencia instantánea ahorrada a nivel nacional durante el peak de consumo. Los ahorros de sitio se convierten en electricidad generada al usar los porcentajes de pérdida de transmisión y distribución, TD. Entonces la energía producida se convierte en la reducción de demanda máxima de acuerdo a:

$$Q = \frac{Max(NES)}{1 - TD} \times \frac{1}{8760} \times \frac{PK}{U}$$

En esta ecuación, 8760 es el número de horas del año. PK es el factor de coincidencia del peak, asumido en 100%, y el factor U es el porcentaje del tiempo en que los motores son usados.