



Reglas de contabilidad para proyectos de reducción y procesos de Medición y Verificación (M&V) de eficiencia energética en el marco del Programa HuellaChile

Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
Arturo Espinosa Cáceres Coordinador Programa HuellaChile	Nataly Moyano Pozo Ilenia Donoso Guzmán Profesionales Programa HuellaChile	Arturo Espinosa Cáceres Coordinador Programa HuellaChile

N° versión	Fecha de actualización	Detalle
1	30/08/2024	Primera versión que incorpora una regla contable para proyectos de reconversión de calderas.
2	20/02/2026	Se incorporan doce reglas de contabilidad, el apartado de Medición y Verificación de Ahorros Energéticos, y se fortalece la estructura general del documento.

Contenido

1	Antecedentes del Programa HuellaChile	2
2	Sello de Reducción del Programa HuellaChile	2
3	Reglas de contabilidad (RDC) a nivel de proyectos de mitigación	3
3.1	(RCD001) Luminaria Eficiente I - Sin cambios en el número de luminarias	3
3.2	(RCD002) Luminaria Eficiente II - Diferencia en el número de luminarias	5
3.3	(RCD003) Sensores de movimiento en luminarias	7
3.4	(RCD004) Autogeneración de electricidad a través de paneles fotovoltaicos	9
3.5	(RCD005) Reconversión de calderas Diésel a Gas Licuado de Petróleo (GLP)	11
3.6	(RCD006) Gestión de residuos orgánicos a través de compostaje	14
3.7	(RCD007) Gestión de residuos de papel y cartón a través de reciclaje	16
3.8	(RCD008) Gestión de residuos inorgánicos a través de reciclaje	17
3.9	(RCD009) Proporción de material reciclado en productos	19
3.10	(RCD010) Electromovilidad I – Cálculo basado en la distancia recorrida	22
3.11	(RCD011) Electromovilidad II – Cálculo basado en el consumo de electricidad	24
3.12	(RCD012) Electrificación en reemplazo de grupos electrógenos – Cálculo basado en la energía utilizada	26
3.13	(RCD013) Electrificación en reemplazo de grupos electrógenos – Cálculo basado en el consumo eléctrico y en el rendimiento del grupo electrógeno	29
4	Medición y Verificación (M&V) de Ahorros Energéticos	31
4.1	Opciones de Medición dentro del IPMVP	31
4.1.1	Opción A: Medición de parámetros clave	32
4.1.2	Opción B: Medición completa de todos los parámetros	32
4.2	Periodos de Medición	32
4.2.1	Periodo de Línea Base	33
4.2.2	Periodo de Instalación	33
4.2.3	Periodo de Reporte	34
4.3	Metodología de Cálculo y Análisis	34
4.4	Ejemplos de aplicación	36
4.4.1	Ejemplo M&V IPMVP- Opción B: Modernización de bombas con VFD	36
4.4.2	Ejemplo M&V IPMVP- Opción B: Intercambiador de calor aire-aire	38

1 Antecedentes del Programa HuellaChile

El Programa HuellaChile, creado en 2013 por el Ministerio del Medio Ambiente, nació como una herramienta clave para apoyar la mitigación del cambio climático y que hoy en día contribuye activamente al avance hacia la meta nacional de carbono neutralidad al 2050, en línea con la Ley Marco de Cambio Climático y los compromisos internacionales asumidos por Chile. Su propósito central es promover que organizaciones públicas y privadas cuantifiquen, reporten y gestionen voluntariamente sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), mediante una plataforma nacional gratuita, digital y alineada con estándares internacionales.

Con el tiempo, HuellaChile se ha consolidado como un Programa Nacional de Gestión del Carbono, otorgando un sistema de certificación por sellos que reconoce distintos niveles de gestión: Cuantificación, Reducción, Neutralización y Excelencia. Estos sellos se basan en metodologías reconocidas, como la ISO 14064, ISO 14067 o el Protocolo Global para Elaboración de Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC), lo que otorga credibilidad y comparabilidad a nivel internacional. Sus ámbitos de aplicación abarcan organizaciones, proyectos de mitigación, eventos, productos y comunas.

Figura 1 - Ámbitos de reconocimiento del Programa HuellaChile



En concreto, HuellaChile funciona como un mecanismo de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de emisiones y reducciones de GEI, con un enfoque principal en fortalecer la gestión del carbono del sector privado.

2 Sello de Reducción del Programa HuellaChile

El Sello de Reducción reconoce a las organizaciones que implementan proyectos o iniciativas de mitigación capaces de generar una reducción de emisiones o un aumento de las remociones de gases de efecto invernadero respecto de un escenario base. Estos proyectos son fundamentales para avanzar hacia una economía baja en carbono. Para postular al sello, la organización debe contar con el Sello de Cuantificación

correspondiente al mismo año en que se presentan las reducciones. Asimismo, el proyecto debe haber estado en operación al menos seis meses durante el año de reporte y no superar los cinco años de antigüedad desde su implementación.

El año de reporte corresponde al periodo en que se produce efectivamente la reducción de emisiones, mientras que el año de postulación se refiere al momento en que la organización carga la información en la plataforma del Programa. Las reducciones deben reportarse conforme a la norma NCh-ISO 14064-2, utilizando el formato de reporte disponible en el sitio web de HuellaChile. Esta norma establece un marco general para el cálculo de las reducciones de emisiones derivadas de proyectos de mitigación. Sin embargo, dado que cada tipo de proyecto presenta particularidades técnicas y operativas, es necesario definir reglas específicas por tipo de proyecto que permitan una correcta aplicación de la metodología.

Por este motivo, se elabora el presente documento, que complementa el marco establecido por la ISO 14064-2 al definir criterios y procedimientos específicos para el cálculo de las reducciones de emisiones en distintos tipos de proyectos. Asimismo, establece protocolos de medición y verificación de ahorros energéticos, cuya lógica de cuantificación responde al principio de aislamiento del proyecto propio de la norma ISO. De esta manera, se estandariza la metodología utilizada, garantizando consistencia, transparencia y comparabilidad en la cuantificación de los resultados.

En este proceso, es indispensable definir un escenario base y monitorear las emisiones durante la implementación del proyecto. El escenario base responde a la pregunta: ¿qué habría ocurrido si el proyecto no hubiese sido implementado? La comparación entre este escenario y el escenario con proyecto permite cuantificar la reducción efectiva de emisiones atribuible a la iniciativa.

Para asegurar que esta comparación sea técnicamente válida, se requiere utilizar variables operativas equivalentes en ambos escenarios. Una variable operacional corresponde a una medida cuantificable que permite comparar de forma coherente el desempeño entre el escenario base y el escenario de proyecto. Consiste en aplicar una misma variable operativa, como las horas de uso o la energía consumida, de manera uniforme en ambos escenarios, de modo que la diferencia observada responda exclusivamente a la implementación del proyecto y no a variaciones externas en la operación. Su uso permite asegurar una evaluación transparente, trazable y técnicamente consistente de las reducciones de emisiones.

3 Reglas de contabilidad (RDC) a nivel de proyectos de mitigación

3.1 (RCD001) Luminaria Eficiente I - Sin cambios en el número de luminarias

Esta sección describe un proyecto tipo orientado al reemplazo de luminarias tradicionales por luminarias de mayor eficiencia energética, como aquellas de tecnología LED, manteniendo constante el número de luminarias instaladas. El objetivo es proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones asociadas exclusivamente a la mejora en la eficiencia energética de los sistemas de iluminación, sin considerar modificaciones en su cantidad.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada es la NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso sería continuar utilizando luminarias tradicionales en vez de alternativas más eficientes. Para esta comparación, se emplearán las horas de operación de la

luminaria como variable operativa para comparar el escenario base con el escenario implementado con el proyecto.

- **Escenario base:** La instalación cuenta con luminarias tradicionales
- **Escenario proyecto:** La instalación cuenta con luminarias eficientes
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Horas de operación de las luminarias

ii. Fórmulas

*Potencia Instalada (kW) = Cantidad de ampolletas * Potencia Unitaria (kW)*

*Consumo anual (kWh) = Potencia Instalada (kW) * Horas de operación (horas)*

*Emisiones (kgCO₂e) = Consumo anual (kWh) * FE Sistema Eléctrico $\left(\frac{kgCO_2e}{kWh}\right)$*

Reducción (tCO₂e) = Emisiones escenario base – Emisiones escenario proyecto

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 1 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Electricidad Año 2024	0,2021	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Horas de operación Luminarias año 2024: 2.080 horas/año
- Número de ampolletas: 50 unidades
- Potencia ampolleta tradicional: 75 W
- Potencia ampolleta eficiente – LED: 20 W

v. Escenario base

- *Potencia Instalada Escenario Base (kW) = 50 * 0,075 kW = 3,75 kW*
- *Consumo anual Escenario Base (kWh) = 3,75 kW * 2.080 horas = 7.800 kWh*
- *Emisiones (kgCO₂e) = 7.800 kWh * 0,2021 $\left(\frac{kgCO_2e}{kWh}\right)$ = 1.576,38 kgCO₂e*

vi. Escenario Proyecto

- *Potencia Instalada Escenario Proyecto (kW) = 50 * 0,02 kW = 1 kW*
- *Consumo anual Escenario Proyecto (kWh) = 1 kW * 2.080 horas = 2.080 kWh*

$$\circ \text{ Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 2.080 \text{ kWh} * 0,2021 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) = 420,37 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vii. Reducciones

Se calcula la reducción de emisiones asociada a la implementación del proyecto, a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, que utiliza luminarias tradicionales, y las del escenario con proyecto, donde se emplean luminarias eficientes. De esta forma, se cuantifica el beneficio derivado de la mejora en eficiencia energética por el reemplazo de luminarias, expresado en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 1.576,4 \text{ kgCO}_2\text{e} - 420,4 \text{ kgCO}_2\text{e} = \mathbf{1.156 \text{ kgCO}_2\text{e}}$$

viii. Resumen

Tabla 2 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Proyecto Luminaria Eficiente I

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Cantidad de ampollitas	50	50
Potencia de cada ampollita (W)	75	20
Potencia Instalada (kW)	3,75	1
Horas de operación luminarias (horas)	2.080	2.080
Consumo de energía anual (kWh)	7.800	2.080
Factor de emisión (kgCO ₂ e/kWh)	0,2021	0,2021
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	1.576,4	420,4
Reducción (kgCO ₂ e)	1.156	
Reducción (tCO ₂ e)	1,16	

3.2 (RCD002) Luminaria Eficiente II - Diferencia en el número de luminarias

Esta sección describe un proyecto tipo orientado al reemplazo de luminarias tradicionales por luminarias de mayor eficiencia energética, como aquellas de tecnología LED, considerando una variación en el número de luminarias instaladas para hacer más eficientes los sistemas de iluminación. El objetivo es proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones asociadas tanto a la mejora en la eficiencia energética como a los cambios en la cantidad de luminarias.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada es la NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso sería continuar utilizando luminarias tradicionales en vez de alternativas más eficientes. Para esta comparación, se emplearán las horas de operación de la luminaria como variable operativa para comparar el escenario base con el escenario implementado con el proyecto.

- **Escenario base:** La instalación cuenta con luminarias tradicionales

- **Escenario proyecto:** La instalación cuenta con luminarias eficientes
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Horas de operación de las luminarias

ii. Fórmulas

*Potencia Instalada (kW) = Cantidad de ampollitas * Potencia Unitaria (kW)*

*Consumo anual (kWh) = Potencia Instalada (kW) * Horas de operación (horas)*

*Emisiones (kgCO₂e) = Consumo anual (kWh) * FE Sistema Eléctrico $\left(\frac{kgCO_2e}{kWh}\right)$*

Reducción (tCO₂e) = Emisiones escenario base – Emisiones escenario proyecto

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 3 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Electricidad Año 2024	0,2021	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Horas de operación Luminarias año 2024: 2.080 horas/año
- Número de ampollitas - Escenario base: 50 unidades
- Número de ampollitas - Escenario proyecto: 40 unidades
- Potencia ampollita tradicional: 75 W
- Potencia ampollita eficiente – LED: 20 W

v. Escenario base

- *Potencia Instalada Escenario Base (kW) = 50 * 0,075 kW = 3,75 kW*
- *Consumo anual Escenario Base (kWh) = 3,75 kW * 2.080 horas = 7.800 kWh*
- *Emisiones (kgCO₂e) = 7.800 kWh * 0,2021 $\left(\frac{kgCO_2e}{kWh}\right)$ = 1.576,38 kgCO₂e*

vi. Escenario Proyecto

- *Potencia Instalada Escenario Proyecto (kW) = 40 * 0,02 kW = 0,8 kW*
- *Consumo anual Escenario Proyecto (kWh) = 0,8 kW * 2.080 horas = 1.664 kWh*
- *Emisiones (kgCO₂e) = 1.664 kWh * 0,2021 $\left(\frac{kgCO_2e}{kWh}\right)$ = 336,3 kgCO₂e*

vii. Reducciones

Se calcula la reducción de emisiones asociada a la implementación del proyecto, a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, que utiliza luminarias tradicionales, y las del escenario con proyecto, donde se emplean luminarias eficientes. De esta forma, se cuantifica el beneficio derivado de la mejora en eficiencia energética por el reemplazo de luminarias, expresado en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 1.576,4 \text{ kgCO}_2\text{e} - 336,3 \text{ kgCO}_2\text{e} = 1.240 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

viii. Resumen

Tabla 4 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Proyecto Luminaria Eficiente II

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Cantidad de ampollitas	50	40
Potencia de cada ampollita (W)	75	20
Potencia Instalada (kW)	3,75	0,8
Horas de operación luminarias (horas)	2.080	2.080
Consumo de energía anual (kWh)	7.800	1.664
Factor de emisión (kgCO ₂ e/kWh)	0,2021	0,2021
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	1.576,4	336,3
Reducción (kgCO ₂ e)	1.240	
Reducción (tCO ₂ e)	1,24	

3.3 (RCD003) Sensores de movimiento en luminarias

Esta sección presenta un proyecto tipo enfocado en la instalación de sensores de movimiento para optimizar el uso de las luminarias y reducir sus horas de funcionamiento. El objetivo es proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones asociadas a la optimización del consumo energético en los sistemas de iluminación.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada corresponde a la norma NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso corresponde al uso de luminarias sin optimización según las condiciones reales de operación. Para esta comparación, se utiliza la potencia instalada de las luminarias como variable operativa que permite contrastar el escenario base con el escenario de proyecto.

- **Escenario base:** Operación de luminarias sin optimización ni sistemas de control.
- **Escenario proyecto:** Incorporación de sensores de movimiento que permiten regular el funcionamiento de las luminarias y optimizar su consumo energético.
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Potencia instalada de las luminarias.

ii. Fórmulas

$$\text{Potencia Instalada (kW)} = \text{Cantidad de ampolletas} * \text{Potencia Unitaria (kW)}$$

$$\text{Consumo anual (kWh)} = \text{Potencia Instalada (kW)} * \text{Horas de operación (horas)}$$

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = \text{Consumo anual (kWh)} * \text{FE Sistema Eléctrico} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right)$$

$$\text{Reducción (tCO}_2\text{e)} = \text{Emisiones escenario base} - \text{Emisiones escenario proyecto}$$

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 5 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Electricidad Año 2024	0,2021	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Potencia instalada (kW): 15
- Horas de operación de luminarias – Caso Base: 2.080 horas/año
- Disminución del 30 % en las horas de uso respecto de las condiciones normales de operación.

i. Supuestos

Se asume que el consumo de electricidad de los sensores de movimiento es despreciable.

ii. Escenario base

- $\text{Consumo anual Escenario Base (kWh)} = 15 \text{ kW} * 2.080 \text{ horas} = 31.200 \text{ kWh}$
- $\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 31.200 \text{ kWh} * 0,2021 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) = 6.305,52 \text{ kgCO}_2\text{e}$

iii. Escenario Proyecto

- $\text{Horas de operación Escenario Proyecto (hrs)} = 2.080 \text{ horas} * \frac{70}{100} = 1.456 \text{ horas}$
- $\text{Consumo anual Escenario Proyecto (kWh)} = 15 \text{ kW} * 1.456 \text{ horas} = 21.840 \text{ kWh}$
- $\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 21.840 \text{ kWh} * 0,2021 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) = 4.413,86 \text{ kgCO}_2\text{e}$

iv. Reducciones

Se estima la reducción de emisiones asociada a la implementación del proyecto a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, en el cual las luminarias operan sin optimización ni control mediante sensores de movimiento, y las del escenario con proyecto, donde estos sensores son incorporados. De este

modo, se cuantifica el beneficio obtenido por la optimización del consumo energético en los sistemas de iluminación, expresado en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 6.305,52 \text{ kgCO}_2\text{e} - 4.413,86 \text{ kgCO}_2\text{e} = 1.891,66 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

v. Resumen

Tabla 6 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Proyecto Sensores de Movimiento

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Potencia Instalada (kW)	15	15
Horas de operación luminarias (horas)	2.080	1.456
Consumo de energía anual (kWh)	31.200	21.840
Factor de emisión (kgCO ₂ e/kWh)	0,2021	0,2021
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	6.305,52	4.413,86
Reducción (kgCO ₂ e)	1.891,66	
Reducción (tCO ₂ e)	1,89	

3.4 (RCD004) Autogeneración de electricidad a través de paneles fotovoltaicos

Esta sección presenta un proyecto tipo enfocado en la autogeneración de energía mediante paneles fotovoltaicos, en reemplazo del consumo de electricidad proveniente de la red. Su objetivo es proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones asociadas al cambio parcial o total de la fuente energética, asegurando el uso de fuentes renovables de manera directa.

Como información adicional, cuando la generación con paneles fotovoltaicos supera la demanda energética, las emisiones asociadas al consumo de electricidad en la huella de carbono se contabilizan como cero, pero nunca como un valor negativo. En la misma línea, el excedente de energía inyectado a la red no se considera una acción de compensación ni genera reducciones adicionales por sobre el consumo propio.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada es la NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso sería continuar utilizando energía eléctrica proveniente de la red nacional. Para esta comparación, se empleará la cantidad de energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos como variable operativa para comparar el escenario base con el escenario implementado con el proyecto.

- **Escenario base:** La instalación consume energía eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional (SEN)¹.

¹ Puede aplicarse un Sistema Eléctrico Mediano, como los existentes en Aysén, Los Lagos o Magallanes, siempre que el consumo eléctrico se realice en dichas regiones.

- **Escenario proyecto:** La instalación consume energía eléctrica autogenerada con paneles fotovoltaicos.
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Energía eléctrica generada por paneles fotovoltaicos.

ii. Fórmulas

$$\text{Emisiones Escenario Base (kgCO}_2\text{e)} = \text{Generación anual (kWh)} * \text{FE Sistema Eléctrico} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right)$$

$$\text{Emisiones Escenario Proyecto (kgCO}_2\text{e)} = \text{Generación anual (kWh)} * \text{Factor de Emisión PFV} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right)$$

$$\text{Reducción (tCO}_2\text{e)} = \text{Emisiones escenario base} - \text{Emisiones escenario proyecto}$$

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 7 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Electricidad Año 2024	0,2021	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.
Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Generación con paneles fotovoltaicos	0	kgCO ₂ e/kWh	HuellaChile, 2025

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Producción anual de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos: 150.000 kWh

v. Escenario base

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 150.000 \text{ kWh} * 0,2021 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) = 30.315 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vi. Escenario Proyecto

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 150.000 \text{ kWh} * 0 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) = 0 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vii. Reducciones

Se estima la reducción de emisiones asociada a la implementación del proyecto a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, que cubre parcial o totalmente su demanda energética mediante electricidad de la red, y las del escenario con proyecto, en el cual la energía que se demanda proviene de la

autogeneración mediante paneles fotovoltaicos. De este modo, se cuantifica el beneficio derivado del cambio de fuente energética, expresado en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 30.315 \text{ kgCO}_2\text{e} - 0 \text{ kgCO}_2\text{e} = \mathbf{30.315 \text{ kgCO}_2\text{e}}$$

viii. Resumen

Tabla 8 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Generación con paneles fotovoltaicos

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Generación de electricidad con PFV (kWh)	150.000	150.000
Factor de emisión (kgCO ₂ e/kWh)	0,2021	0
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	30.315	0
Reducción (kgCO ₂ e)	30.315	
Reducción (tCO ₂ e)	30,32	

3.5 (RCD005) Reconversión de calderas Diésel a Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Esta sección presenta un proyecto tipo centrado en la reconversión del uso de combustible en una caldera, que pasa de diésel a GLP. Es importante señalar que, para este cálculo, no se han considerado los cambios en la eficiencia energética, aunque estos mejorarían la precisión del reporte. Tampoco se han incluido las emisiones asociadas a la cadena de valor del combustible, las cuales podrían aumentar las reducciones alcanzadas por este proyecto.

De acuerdo con las directrices del IPCC (2006, 2019), toda la información energética se expresa en términos de poder calorífico neto, también denominado poder calorífico inferior (PCI). Este valor excluye el calor latente de vaporización del agua, lo que resulta coherente con el funcionamiento real de las calderas, las cuales no recuperan dicho calor durante el proceso de combustión. Por esta razón, en el presente análisis se emplea el PCI como base para los cálculos energéticos.

El objetivo de este análisis es proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones logradas al utilizar un combustible con un menor impacto en emisiones.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada es la NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso sería continuar utilizando diésel para alimentar las calderas. Para esta comparación, se empleará la energía como variable operativa para comparar el escenario base con el escenario implementado con el proyecto.

- **Escenario base:** Uso de diésel como combustible para calderas
- **Escenario proyecto:** Reconversión de calderas para funcionamiento con gas licuado de petróleo (GLP).
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Energía utilizada

ii. Fórmulas

*Poder Calorífico Inferior (PCI) = Poder Calorífico Superior (PCS) * Factor de conversión PCS a PCI*

*Energía utilizada (kCal) = Cantidad combustible (kg) * Poder Calorífico Inferior $\left(\frac{kCal}{kg}\right)$*

*Consumo de combustible hipotético (kg) = Energía utilizada (kCal) * $\frac{1}{Poder Calorífico Inferior (kCal/kg)}$*

*Emissiones combustible_i (tCO₂e) = Consumo anual de combustible_i (m³) * Factor de Emisión Combustible_i $\left(\frac{tCO_2e}{m^3}\right)$*

Reducción (tCO₂eq) = Emissiones escenario base – Emissiones escenario proyecto

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 9 - Densidades y Poderes Caloríficos Balance Nacional de Energía 2022

Producto	Densidad (ton/m ³)	Poder Calorífico Superior (kCal/kg)	Poder Calorífico Inferior (kCal/kg)
Gas Licuado	0,550	12.100	11.495
Petróleo Diésel	0,840	10.900	10.355

Fuente: Ministerio de Energía, noviembre 2023

Tabla 10 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Combustión estacionaria	Gas Licuado de Petróleo (GLP)	1,59	tCO ₂ e/m ³	IPCC 2006 (vol2; chapter 2) y Balance Nacional de Energía 2022
Combustión estacionaria	Diésel	2,71	tCO ₂ e/m ³	IPCC 2006 (vol2; chapter 2) y Balance Nacional de Energía 2022

Tabla 11 – Factor de conversión de PCS a PCI

Compuesto	Valor	Fuente de información
Combustibles sólidos y líquidos	95%	IPCC V2 CH1 (int. de confianza 95%)
Combustibles gaseosos	90%	IPCC V2 CH1 (int. de confianza 90%)

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2023
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2023
- Cantidad de GLP utilizado durante 2023: 1.500 toneladas

$$\text{Energía utilizada GLP} = 1.500 \text{ ton} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} * 12.100 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} * 0,95 = 1,724 * 10^{10} \text{ kCal}$$

v. Escenario Base

Con la energía utilizada en las calderas que operan con GLP, se estimará la cantidad de diésel que habría sido necesaria para alcanzar el mismo nivel energético, considerando que el uso de diésel representa el escenario más probable en ausencia del proyecto.

$$\begin{aligned} \text{Consumo diésel hipotético} &= 1,724 * 10^{10} \text{ kCal} * \frac{1}{10.355} \frac{\text{kg}}{\text{kCal}} * \frac{1}{1000} \frac{\text{ton}}{\text{kg}} * \frac{1}{0,840} \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \\ &= 1.982,02 \text{ m}^3 \text{ diésel} \end{aligned}$$

Posteriormente, cuantificamos las emisiones del escenario base considerando un consumo hipotético de diésel de 1.982,02 m³.

$$\text{Emisiones escenario base} = 1.982,02 \text{ m}^3 \text{ diésel} * 2,71 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{m}^3} = 5.371,27 \text{ tCO}_2\text{e}$$

vi. Escenario Proyecto

Las emisiones del escenario con proyecto se estiman a partir de un consumo de 1.500 toneladas de GLP.

$$\text{Emisiones escenario proyecto} = 1.500 \text{ ton GLP} * \frac{1}{0,55} \frac{\text{m}^3}{\text{ton}} * 1,59 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{m}^3} = 4.336,36 \text{ tCO}_2\text{e}$$

vii. Reducciones

Calculamos la reducción de emisiones resultante de la implementación de este proyecto. Este cálculo se basa en la diferencia entre las emisiones del escenario base, que utiliza diésel, y las del escenario con el proyecto, que emplea GLP. De esta manera, se cuantifica el beneficio del cambio de combustible en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción tCO}_2\text{e} = 5.102,71 \text{ tCO}_2\text{e} - 4.336,36 \text{ tCO}_2\text{e} = 766,35 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Tabla 12 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Reconversión de calderas diésel a GLP

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Combustible	Diésel	GLP
Energía utilizada (kCal)	1,724 * 10 ¹⁰	1,724 * 10 ¹⁰
Cantidad de combustible (ton)	1.664,9	1.500
Cantidad de combustible (m ³)	1.982,02	2.727,273
Factor de emisión (ton/m ³)	2,71	1,59
Emisión del escenario (tCO ₂)	5.371,27	4.336,36
Reducción (tCO ₂)	1.034,91	

3.6 (RCD006) Gestión de residuos orgánicos a través de compostaje

Esta sección presenta un proyecto tipo centrado en el compostaje de residuos orgánicos, como alternativa a su disposición en rellenos sanitarios. Su objetivo es establecer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones derivadas de una gestión más sostenible de los residuos orgánicos.

i. Marco conceptual

La metodología base empleada corresponde a la norma NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso corresponde a la disposición de los residuos orgánicos en un relleno sanitario. Para realizar la comparación, se utilizarán las toneladas de residuos orgánicos generadas como variable operativa entre el escenario base y el escenario con proyecto.

- **Escenario base:** Los residuos orgánicos generados son destinados a disposición final en un relleno sanitario.
- **Escenario proyecto:** Los residuos orgánicos generados se valorizan mediante compostaje.
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Generación de residuos orgánicos.

ii. Fórmulas

Emisiones por disposición de residuos orgánicos (kgCO₂e) =

$$\text{Generación de residuos orgánicos (ton)} * \text{Factor de Emisión por tipo de disposición} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{ton}} \right)$$

Reducción (tCO₂e) = Emisiones escenario base – Emisiones escenario proyecto

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 13 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Fuente	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Otras emisiones indirectas – Tratamiento y/o disposición de residuos	Residuos orgánicos - Compostaje	8,88	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Waste disposal

Categoría	Fuente	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Otras emisiones indirectas – Tratamiento y/o disposición de residuos	Residuos orgánicos – Relleno Sanitario	655,987	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Waste disposal

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Generación de residuos orgánicos: 25.000 toneladas

v. Escenario base

$$\circ \text{ Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 25.000 \text{ ton} * 655,987 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{ton}} \right) = 16.399.675 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vi. Escenario Proyecto

$$\circ \text{ Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 25.000 \text{ ton} * 8,88 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{ton}} \right) = 222.000 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vii. Reducciones

Se estima la reducción de emisiones generada por la implementación del proyecto a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, que considera la disposición de los residuos orgánicos en un relleno sanitario, y las del escenario con proyecto, donde dichos residuos se valorizan mediante compostaje. De esta manera, se cuantifica el beneficio ambiental asociado a una gestión más sostenible de los residuos orgánicos, expresado en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 16.399.675 \text{ kgCO}_2\text{e} - 222.000 \text{ kgCO}_2\text{e} = \mathbf{16.177.675 \text{ kgCO}_2\text{e}}$$

viii. Resumen

Tabla 14 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Compostaje de residuos orgánicos

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Generación de residuos orgánicos (ton)	25.000	25.000
Factor de emisión (kgCO ₂ e/ton)	655,99	8,88
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	16.399.675	222.000
Reducción (kgCO ₂ e)	16.177.675	
Reducción (tCO ₂ e)	16.177,68	

3.7 (RCD007) Gestión de residuos de papel y cartón a través de reciclaje

Esta sección presenta un proyecto tipo enfocado en el reciclaje de residuos de papel y cartón, considerando que su impacto se manifiesta principalmente aguas abajo del proceso, cuando una tercera organización puede **sustituir materiales vírgenes por materiales reciclados**. El objetivo es definir una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones asociadas al desplazamiento de materiales vírgenes mediante el uso de materiales reciclados.

Este tipo de iniciativas se aborda mediante un tratamiento excepcional de contabilización, ya que las reducciones de emisiones de GEI que generan no inciden directamente sobre una fuente de emisión incluida en el inventario.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada corresponde a la norma NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso implica el uso de materiales vírgenes en la cadena productiva de la organización. Para efectuar la comparación, se considerarán las toneladas de residuos de papel y cartón generados como variable operativa entre el escenario base y el escenario con proyecto.

- **Escenario base:** Organización aguas abajo adquiere materiales elaborados a partir de materia prima virgen.
- **Escenario proyecto:** Organización aguas abajo adquiere materiales elaborados partir de materia prima reciclada.
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Generación de residuos de papel y cartón

ii. Fórmulas

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = \text{Nivel de Actividad (NA)} * \text{Factor de Emisión} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{NA}} \right)$$

$$\text{Reducción (tCO}_2\text{e)} = \text{Emisiones escenario base} - \text{Emisiones escenario proyecto}$$

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 15 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Fuente	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de papel y cartón – Material Virgen	1.282,74	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de papel y cartón – Material Reciclado	1.063,02	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use

iv. Antecedentes del caso de estudio

El caso de estudio estará vinculado al reciclaje de residuos de papel y cartón

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Generación de residuos de papel y cartón: 1.500 toneladas

v. Escenario base

$$\circ \text{ Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 1.500 \text{ ton} * 1.282,74 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{ton}} \right) = 1.924.000 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vi. Escenario Proyecto

$$\circ \text{ Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 1.500 \text{ ton} * 1.063,02 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{ton}} \right) = 1.594.530 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vii. Reducciones

Se estima la reducción de emisiones generada por la implementación del proyecto a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, que considera la adquisición de materiales elaborados a partir de materia prima virgen, y las del escenario con proyecto, donde la misma adquisición se realiza utilizando materiales reciclados. De esta forma, se cuantifica el beneficio ambiental asociado a una gestión más sostenible de los recursos, expresado en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 1.924.000 \text{ kgCO}_2\text{e} - 1.594.530 \text{ kgCO}_2\text{e} = 329.470 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

viii. Resumen

Tabla 16 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Reciclaje de residuos de plástico

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Generación de residuos de papel y cartón (ton)	5.000	5.000
Factor de emisión (kgCO ₂ eq/ton)	1.282,74	1.063,02
Emisión del escenario (kgCO ₂ eq)	1.924.000	1.594.530
Reducción (kgCO ₂ eq)	329.470	
Reducción (tCO ₂ eq)	329,47	

3.8 (RCD008) Gestión de residuos inorgánicos a través de reciclaje

Esta sección presenta un proyecto tipo enfocado en el reciclaje de residuos inorgánicos, considerando que su impacto se manifiesta principalmente aguas abajo del proceso, cuando una tercera organización puede **sustituir materiales vírgenes por materiales reciclados**. El objetivo es definir una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones asociadas al desplazamiento de materiales vírgenes mediante el uso de materiales reciclados.

Este tipo de iniciativas se aborda mediante un tratamiento excepcional de contabilización, ya que las reducciones de emisiones de GEI que generan no inciden directamente sobre una fuente de emisión incluida en el inventario.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada corresponde a la norma NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso implica el uso de materiales vírgenes en la cadena productiva de la organización. Para efectuar la comparación, se considerarán las toneladas de residuos inorgánicos generados como variable operativa entre el escenario base y el escenario con proyecto.

- **Escenario base:** Organización aguas abajo adquiere materiales elaborados a partir de materia prima virgen.
- **Escenario proyecto:** Organización aguas abajo adquiere materiales elaborados partir de materia prima reciclada.
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Generación de residuos inorgánicos.

ii. Fórmulas

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = \text{Nivel de Actividad (NA)} * \text{Factor de Emisión} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{NA}} \right)$$

$$\text{Reducción (tCO}_2\text{e)} = \text{Emisiones escenario base} - \text{Emisiones escenario proyecto}$$

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 17 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Fuente	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de plástico promedio – Material Virgen	3.164,78	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de plástico promedio – Material Reciclado	1.566,39	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de vidrio – Material Virgen	1.402,77	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de vidrio – Material Reciclado	823,19	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de latas de aluminio – Material Virgen	2.854,92	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de latas de aluminio – Material Reciclado	1.726,73	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use

iv. Antecedentes del caso de estudio

El caso de estudio estará vinculado al reciclaje de residuos de plástico.

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Generación de residuos de plástico: 1.500 toneladas

v. Escenario base

$$\circ \text{ Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 1.500 \text{ ton} * 3.164,78 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{ton}} \right) = 4.747.170 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vi. Escenario Proyecto

$$\circ \text{ Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 1.500 \text{ ton} * 1.566,39 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{ton}} \right) = 2.349.585 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vii. Reducciones

Se estima la reducción de emisiones generada por la implementación del proyecto a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, que considera la adquisición de materiales elaborados a partir de materia prima virgen, y las del escenario con proyecto, donde la misma adquisición se realiza utilizando materiales reciclados. De esta forma, se cuantifica el beneficio ambiental asociado a una gestión más sostenible de los recursos, expresado en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 4.747.170 \text{ kgCO}_2\text{e} - 2.349.585 \text{ kgCO}_2\text{e} = \mathbf{2.397.585 \text{ kgCO}_2\text{e}}$$

viii. Resumen

Tabla 18 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Reciclaje de residuos de plástico

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Generación de residuos de plástico (ton)	5.000	5.000
Factor de emisión (kgCO ₂ eq/ton)	3.164,78	1.566,39
Emisión del escenario (kgCO ₂ eq)	4.747.170	2.349.585
Reducción (kgCO ₂ eq)	2.349.585	
Reducción (tCO ₂ eq)	2.349,59	

3.9 (RCD009) Proporción de material reciclado en productos

Esta sección describe un proyecto tipo orientado a la modificación de productos para incorporar un porcentaje de insumos reciclados en su composición, en reemplazo de materiales vírgenes. El foco está puesto en la sustitución parcial de materia prima virgen por materiales reciclados, con el objetivo de definir

una metodología base que permita cuantificar las reducciones de emisiones asociadas al desplazamiento de materiales vírgenes mediante el uso de insumos reciclados.

i. Marco conceptual

La metodología base se fundamenta en la norma NCh ISO 14064-2:2019 y tiene por objetivo evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto. En este caso, dicho escenario corresponde a la fabricación de productos elaborados exclusivamente con materiales vírgenes dentro de la cadena productiva de la organización.

El proyecto considera la incorporación parcial de insumos reciclados en la composición de los productos, en reemplazo de una fracción de materia prima virgen. En consecuencia, la comparación entre escenarios se realiza sobre la base de la proporción de material reciclado incorporado en los productos, manteniendo constante el nivel de producción.

- **Escenario base:** Productos elaborados íntegramente a partir de materia prima virgen.
- **Escenario proyecto:** Productos elaborados con una combinación de materia prima virgen e insumos reciclados, incorporando un porcentaje definido de material reciclado.
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Producción

ii. Fórmulas

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = \text{Nivel de Actividad (NA)} * \text{Factor de Emisión} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{NA}} \right)$$

$$\text{Reducción (tCO}_2\text{e)} = \text{Emisiones escenario base} - \text{Emisiones escenario proyecto}$$

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 19 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Fuente	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de vidrio – Material Virgen	1.402,77	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use
Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Adquisición de vidrio – Material Reciclado	823,19	kgCO ₂ e/toneladas	DEFRA 2024, Material Use

iv. Antecedentes del caso de estudio

El caso de estudio estará vinculado a la incorporación parcial de insumos reciclados en la composición de productos de vidrios, en reemplazo de una fracción de materia prima virgen.

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Generación de productos de vidrio: 500.000 unidades
- Peso por producto de vidrio = 0,003 ton/unidad

- Porcentaje de material reciclado en el producto = 30%

v. Escenario base

$$\circ \text{ Emisiones } (kgCO_2e) = 500.000 \text{ unidades} * 0,003 \frac{ton}{unidad} * 1.402,77 \left(\frac{kgCO_2e}{ton} \right) = 2.104.155 \text{ } kgCO_2e$$

vi. Escenario Proyecto

$$\begin{aligned} \circ \text{ Emisiones} - \text{Porción insumo reciclado } (kgCO_2e) &= 500.000 \text{ unidades} * 0,003 \frac{ton}{unidad} * \left(\frac{30}{100} \right) * 823,19 \left(\frac{kgCO_2e}{ton} \right) = 370.436 \text{ } kgCO_2e \\ \circ \text{ Emisiones} - \text{Porción insumo virgen } (kgCO_2e) &= 500.000 \text{ unidades} * 0,003 \frac{ton}{unidad} * \left(\frac{70}{100} \right) * 1.402,77 \left(\frac{kgCO_2e}{ton} \right) = 1.472.909 \text{ } kgCO_2e \\ \circ \text{ Emisiones Escenario Proyecto } (kgCO_2e) &= 370.436 \text{ } kgCO_2e + 1.472.909 \text{ } kgCO_2e = 1.843.345 \text{ } kgCO_2e \end{aligned}$$

vii. Reducciones

Las reducciones de emisiones se estiman a partir de la comparación entre el escenario base y el escenario con proyecto, manteniendo constante el nivel de producción. El escenario base considera la elaboración de productos utilizando exclusivamente materia prima virgen, mientras que el escenario con proyecto incorpora un porcentaje de materiales reciclados en su composición, en sustitución parcial de dichos materiales vírgenes.

De esta forma, se cuantifica el beneficio ambiental asociado al desplazamiento de materia prima virgen mediante el uso de insumos reciclados, expresado en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción } (kgCO_2e) = 2.104.155 \text{ } kgCO_2e - 1.843.345 \text{ } kgCO_2e = 260.810 \text{ } kgCO_2e$$

viii. Resumen

Tabla 20 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Proporción de material reciclado en productos

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Producción de vidrio (Unidades)	500.000	500.000
Peso por producto de vidrio (ton/unidad)	0,003	0,003
Proporción material virgen (ton)	1.500	1.050
Proporción material reciclado (ton)	-	450
Factor de emisión - Vidrio Material virgen (kgCO ₂ eq/ton)	1.402,77	1.402,77
Factor de emisión - Vidrio Material reciclado (kgCO ₂ eq/ton)	-	823,19
Emisión del escenario (kgCO ₂ eq)	2.104.155	1.843.345

Reducción (kgCO ₂ eq)	260.810	
Reducción (tCO ₂ eq)	260,8	

3.10 (RCD010) Electromovilidad I – Cálculo basado en la distancia recorrida

Esta sección presenta un proyecto tipo enfocado en el reemplazo de la flota vehicular convencional por una flota eléctrica, con el objetivo de proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones derivadas de la adopción de un modo de transporte de bajas emisiones.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada corresponde a la norma NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso corresponde a la continuidad en el uso de la flota vehicular convencional en lugar de una flota eléctrica. Para esta comparación, se emplea la distancia recorrida como variable operativa que permite contrastar el escenario base con el escenario de proyecto.

- **Escenario base:** Flota vehicular con uso de diésel.
- **Escenario proyecto:** Flota vehicular con uso de energía eléctrica.
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Distancia recorrida

ii. Fórmulas

$$\text{Consumo diésel (L)} = \text{Distancia recorrida (km)} * \frac{1}{\text{Rendimiento Vehicular (km/L)}}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones por consumo de electricidad (kgCO}_2\text{e)} \\ = \text{Consumo anual (kWh)} * \text{FE Sistema Eléctrico} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones por consumo de combustible}_i \text{ (kgCO}_2\text{e)} \\ = \text{Consumo anual de combustible}_i \text{ (L)} * \text{Factor de Emisión Combustible}_i \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{L}} \right) \end{aligned}$$

$$\text{Reducción (tCO}_2\text{e)} = \text{Emisiones escenario base} - \text{Emisiones escenario proyecto}$$

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 21 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Emisiones directas – Combustión móvil	Diésel	2,74	kgCO ₂ e/L	IPCC 2006, en base al BNE.
Emisiones indirectas provenientes de	Electricidad Año 2024	0,2021	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
electricidad importada				

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Rendimiento vehicular – *Vehículo diésel*²: 13,8 km/L
- Consumo de electricidad (kWh) = 3.000 kWh
- Distancia recorrida: 12.000 km/año

v. Escenario base

- $\text{Consumo diésel (L)} = 12.000 \text{ km/año} * \frac{1}{13,8 \text{ km/L}} = 869,57 \text{ L}$
- $\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 869,57 \text{ L} * 2,74 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{L}} \right) = 2.382,62 \text{ kgCO}_2\text{e}$

vi. Escenario Proyecto

- $\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 3.000 \text{ kWh} * 0,2021 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) = 606,3 \text{ kgCO}_2\text{e}$

vii. Reducciones

Se estima la reducción de emisiones asociada a la implementación del proyecto a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, correspondiente a la operación de una flota vehicular diésel, y las del escenario con proyecto, en el cual se utiliza una flota eléctrica. De este modo, se cuantifica el beneficio derivado del uso de un medio de transporte de bajas emisiones, expresado en términos de reducción de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 2.382,6 \text{ kgCO}_2\text{e} - 606,3 \text{ kgCO}_2\text{e} = \mathbf{1.776,3 \text{ kgCO}_2\text{e}}$$

viii. Resumen

Tabla 22 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Proyecto Electromovilidad I

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Distancia recorrida (km)	12.000	12.000
Rendimiento vehicular (km/L)	13,8	-
Consumo diésel (L)	869,57	
Consumo de electricidad (kWh)	-	3.000

² Rendimiento hipotético. Para cada proyecto, los rendimientos se deben consultar en el manual del fabricante o, alternativamente, en el sitio web: <https://www.consumovehicular.cl/>

Factor de emisión (kgCO ₂ e/kWh)	-	0,2021
Factor de emisión (kgCO ₂ e/L)	2,74	-
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	2.382,62	606,3
Reducción (kgCO ₂ e)	1.776,3	
Reducción (tCO ₂ e)	1,78	

3.11 (RCD011) Electromovilidad II – Cálculo basado en el consumo de electricidad

Esta sección presenta un proyecto tipo enfocado en el reemplazo de la flota vehicular convencional por una flota eléctrica, con el objetivo de proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones derivadas de la adopción de un modo de transporte de bajas emisiones.

i. Marco conceptual

La metodología base utilizada corresponde a la norma NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso corresponde a la continuidad en el uso de la flota vehicular convencional en lugar de una flota eléctrica. Para esta comparación, se emplea la energía utilizada como variable operativa que permite contrastar el escenario base con el escenario de proyecto.

- **Escenario base:** Flota vehicular con uso de diésel.
- **Escenario proyecto:** Flota vehicular con uso de energía eléctrica.
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Energía Utilizada

ii. Fórmulas

*Poder Calorífico Inferior (PCI) = Poder Calorífico Superior (PCS) * Factor de conversión PCS a PCI*

*Energía utilizada (kCal) = Cantidad combustible (kg) * Poder Calorífico Inferior $\left(\frac{kCal}{kg}\right)$*

Consumo de combustible hipotético (kg)

$$= \text{Energía utilizada (kCal)} * \frac{1}{\text{Poder Calorífico Inferior (kCal/kg)}}$$

Emisiones por consumo de electricidad (kgCO₂e)

$$= \text{Consumo anual (kWh)} * \text{Factor de Emisión SEN} \left(\frac{kgCO_2e}{kWh}\right)$$

Emisiones por consumo de combustible_i (kgCO₂e)

$$= \text{Consumo anual de combustible}_i (L) * \text{Factor de Emisión Combustible}_i \left(\frac{kgCO_2e}{L}\right)$$

Reducción (tCO₂e) = Emisiones escenario base – Emisiones escenario proyecto

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 23 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Emisiones directas – Combustión móvil	Diésel	2,74	kgCO ₂ e/L	IPCC 2006, en base al BNE.
Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Electricidad Año 2024	0,2021	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.

Tabla 24 - Densidades y Poderes Calóricos Balance Nacional de Energía 2022

Producto	Densidad (ton/m ³)	Poder Calórico
Petróleo Diésel	0,840	10.900 (kCal/kg)
Electricidad	-	860 kCal/kWh

Fuente: Ministerio de Energía, noviembre 2023

Tabla 25 – Factor de conversión de PCS a PCI

Compuesto	Valor	Fuente de información
Combustibles sólidos y líquidos	95%	IPCC V2 CH1 (int. de confianza 95%)
Combustibles gaseosos	90%	IPCC V2 CH1 (int. de confianza 90%)

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Consumo eléctrico: 3.000 kWh

$$\text{Energía utilizada (kCal)} = 3.000 \text{ kWh} * 860 \text{ (kCal/kWh)} = 2.580.000 \text{ kCal}$$

v. Escenario base

Con la energía utilizada en la flota vehicular eléctrica, se estimará la cantidad de diésel que habría sido necesaria para alcanzar el mismo nivel energético, considerando que el uso de flota convencional a diésel representa el escenario más probable en ausencia del proyecto.

$$\text{Consumo diésel hipotético} = 2.580.000 * \frac{1}{(10.900 * 0,95)} \frac{kg}{kCal} * \frac{1}{1000} \frac{ton}{kg} * \frac{1}{0,840} \frac{ton}{m^3}$$

$$= 0,2966 m^3 \text{ diésel}$$

Posteriormente, cuantificamos las emisiones del escenario base considerando un consumo hipotético de diésel de 0,2966 m³.

$$\text{Emisiones escenario base} = 0,2966 m^3 \text{ diésel} * 2,71 \frac{tCO_2e}{m^3} = 0,804 tCO_2e = 803,79 kgCO_2e$$

vi. Escenario Proyecto

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 3.000 kWh * 0,2021 \left(\frac{kgCO_2e}{kWh} \right) = 606,3 kgCO_2e$$

vii. Reducciones

Se estima la reducción de emisiones asociada a la implementación del proyecto a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, correspondiente a la operación de una flota vehicular diésel, y las del escenario con proyecto, en el cual se utiliza una flota eléctrica. De este modo, se cuantifica el beneficio derivado del uso de un medio de transporte de bajas emisiones, expresado en términos de reducción de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 803,79 kgCO_2e - 606,3 kgCO_2e = 197,49 kgCO_2e$$

viii. Resumen

Tabla 26 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Proyecto Electromovilidad II

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Consumo eléctrico (kWh)	-	3.000
Energía utilizada (kCal)	2.580.000	2.580.000
Consumo diésel (L)	296,6	-
Factor de emisión (kgCO ₂ e/kWh)	-	0,2021
Factor de emisión (kgCO ₂ e/L)	2,74	-
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	803,79	606,3
Reducción (kgCO ₂ e)	197,49	

3.12 (RCD012) Electrificación en reemplazo de grupos electrógenos – Cálculo basado en la energía utilizada

Esta sección presenta un proyecto tipo orientado a reemplazar el uso de grupos electrógenos por electricidad proveniente de la red, con el propósito de proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones asociadas al uso de energía de menor intensidad de carbono.

i. Marco conceptual

La metodología de base utilizada corresponde a la norma NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso sería continuar utilizando grupos electrógenos para el suministro eléctrico en lugar de obtener esta electricidad desde la red. Para esta comparación, se emplea la energía utilizada como variable operativa que permite contrastar el escenario base con el escenario de proyecto.

- **Escenario base:** Suministro eléctrico mediante grupos electrógenos
- **Escenario proyecto:** Suministro eléctrico proveniente de la red
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Energía utilizada

ii. Fórmulas

*Poder Calorífico Inferior (PCI) = Poder Calorífico Superior (PCS) * Factor de conversión PCS a PCI*

*Energía utilizada (kCal) = Cantidad combustible (kg) * Poder Calorífico Inferior $\left(\frac{kCal}{kg}\right)$*

Consumo de combustible hipotético (kg)

$$= \text{Energía utilizada (kCal)} * \frac{1}{\text{Poder Calorífico Inferior (kCal/kg)}}$$

Emisiones por consumo de electricidad (kgCO₂e)

$$= \text{Consumo anual (kWh)} * \text{Factor de Emisión SEN} \left(\frac{kgCO_2e}{kWh}\right)$$

Emisiones por consumo de combustible_i (kgCO₂e)

$$= \text{Consumo anual de combustible}_i (L) * \text{Factor de Emisión Combustible}_i \left(\frac{kgCO_2e}{L}\right)$$

Reducción (tCO₂e) = Emisiones escenario base – Emisiones escenario proyecto

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 27 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Combustión estacionaria	Diésel	2,71	tCO ₂ e/m ³	IPCC 2006 (vol2; chapter 2) y Balance Nacional de Energía 2022
Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Electricidad Año 2024	0,2021	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.

Tabla 28 - Densidades y Poderes Calóricos Balance Nacional de Energía 2022

Producto	Densidad (ton/m ³)	Poder Calórico
----------	--------------------------------	----------------

Petróleo Diésel	0,840	10.900 kCal/kg
Electricidad	-	860 kCal/kWh

Fuente: Ministerio de Energía, noviembre 2023

Tabla 29 – Factor de conversión de PCS a PCI

Compuesto	Valor	Fuente de información
Combustibles sólidos y líquidos	95%	IPCC V2 CH1 (int. de confianza 95%)
Combustibles gaseosos	90%	IPCC V2 CH1 (int. de confianza 90%)

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Consumo eléctrico: 5.000 kWh

$$\text{Energía utilizada (kCal)} = 5.000 \text{ kWh} * 860 \text{ (kCal/kWh)} = 4.300.000 \text{ kCal}$$

v. Escenario base

A partir de la energía consumida desde la red, se estimará la cantidad de diésel que habría sido necesaria para generar el mismo nivel energético mediante grupos electrógenos, considerando que su uso constituye el escenario más probable en ausencia del proyecto.

$$\begin{aligned} \text{Consumo diésel hipotético} &= 4.300.000 * \frac{1}{(10.900 * 0,95)} \frac{\text{kg}}{\text{kCal}} * \frac{1}{1000} \frac{\text{ton}}{\text{kg}} * \frac{1}{0,840} \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \\ &= 0,494 \text{ m}^3 \text{ diésel} = 494,355 \text{ L diésel} \end{aligned}$$

Posteriormente, cuantificamos las emisiones del escenario base considerando un consumo hipotético de diésel de 0,494 m³.

$$\text{Emisiones escenario base} = 0,494 \text{ m}^3 \text{ diésel} * 2,71 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{m}^3} = 1,34 \text{ tCO}_2\text{e} = 1.338,7 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vi. Escenario Proyecto

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{e)} = 5.000 \text{ kWh} * 0,2021 \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right) = 1.010,5 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

vii. Reducciones

La reducción de emisiones asociada a la implementación del proyecto se estima a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, que corresponde a obtener electricidad mediante grupos electrógenos, y las del escenario con proyecto, en el cual la misma electricidad es suministrada desde la

red. De este modo se cuantifica el beneficio derivado del uso de un energético con menor intensidad de emisiones, expresado en términos de reducción de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 1.338,7 \text{ kgCO}_2\text{e} - 1.010,5 \text{ kgCO}_2\text{e} = 328,2 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

viii. Resumen

Tabla 30 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Electrificación en reemplazo de GE

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Consumo eléctrico (kWh)	-	5.000
Energía utilizada (kCal)	4.300.000	4.300.000
Consumo diésel (L)	494,355	-
Factor de emisión (kgCO ₂ e/kWh)	-	0,2021
Factor de emisión (kgCO ₂ e/L)	2,74	-
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	1.338,7	1.010,5
Reducción (kgCO ₂ e)	328,2	

3.13 (RCD013) Electrificación en reemplazo de grupos electrógenos – Cálculo basado en el consumo eléctrico y en el rendimiento del grupo electrógeno

Esta sección presenta un proyecto tipo orientado a reemplazar el uso de grupos electrógenos por electricidad proveniente de la red, con el propósito de proponer una metodología base para cuantificar las reducciones de emisiones asociadas al uso de energía de menor intensidad de carbono.

i. Marco conceptual

La metodología de base utilizada corresponde a la norma NCh ISO 14064/2:2019. El objetivo es evaluar el escenario hipotético más probable en ausencia del proyecto, que en este caso sería continuar utilizando grupos electrógenos para el suministro eléctrico en lugar de obtener esta electricidad desde la red. Para esta comparación, se emplea el consumo eléctrico como variable operativa que permite contrastar el escenario base con el escenario de proyecto.

- **Escenario base:** Suministro eléctrico mediante grupos electrógenos
- **Escenario proyecto:** Suministro eléctrico proveniente de la red
- **Variable operacional de comparación de escenarios:** Consumo eléctrico

ii. Fórmulas

Emisiones por consumo de electricidad (kgCO₂e)

$$= \text{Consumo anual (kWh)} * \text{Factor de Emisión SEN} \left(\frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} \right)$$

Emisiones por consumo de combustible_i (kgCO₂e)

$$= \text{Consumo anual de combustible}_i (L) * \text{Factor de Emisión Combustible}_i \left(\frac{kgCO_2e}{L} \right)$$

Reducción (tCO₂e) = Emisiones escenario base – Emisiones escenario proyecto

iii. Factores de emisión y conversión

Tabla 31 - Factores de emisión para el proyecto en referencia

Categoría	Combustible	Factor de emisión	Unidad Factor de emisión	Fuente de información
Combustión estacionaria	Diésel	2,71	tCO ₂ e/m ³	IPCC 2006 (vol2; chapter 2) y Balance Nacional de Energía 2022
Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Electricidad Año 2024	0,2021	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.

iv. Antecedentes del caso de estudio

- Año de reducción: 2024
- Fecha de implementación del proyecto: 01/01/2024
- Rendimiento del grupo electrógeno: 3 kWh/L
- Consumo eléctrico: 5.000 kWh

v. Escenario base

A partir del consumo eléctrico proveniente de la red y del rendimiento del grupo electrógeno, se estimará la cantidad de diésel que habría sido necesaria para generar el mismo nivel energético mediante grupos electrógenos, considerando que su uso corresponde al escenario más probable en ausencia del proyecto.

$$\text{Consumo diésel hipotético} = 5.000 \text{ kWh} * \frac{1}{(3 \text{ kWh/L})} = 1.666,67 \text{ L diésel} = 1,67 \text{ m}^3 \text{ diésel}$$

Posteriormente, cuantificamos las emisiones del escenario base considerando un consumo hipotético de diésel de 1,67 m³.

$$\text{Emisiones escenario base} = 1,67 \text{ m}^3 \text{ diésel} * 2,71 \frac{tCO_2e}{m^3} = 4,53 \text{ tCO}_2e = 4.525,7 \text{ kgCO}_2e$$

vi. Escenario Proyecto

$$\circ \text{ Emisiones (kgCO}_2e) = 5.000 \text{ kWh} * 0,2021 \left(\frac{kgCO_2e}{kWh} \right) = 1.010,5 \text{ kgCO}_2e$$

vii. Reducciones

La reducción de emisiones asociada a la implementación del proyecto se estima a partir de la diferencia entre las emisiones del escenario base, que corresponde a obtener electricidad mediante grupos electrógenos, y las del escenario con proyecto, en el cual la misma electricidad es suministrada desde la red. De este modo se cuantifica el beneficio derivado del uso de un energético con menor intensidad de emisiones, expresado en términos de reducción de gases de efecto invernadero.

$$\text{Reducción (kgCO}_2\text{e)} = 4.525,7 \text{ kgCO}_2\text{e} - 1.010,5 \text{ kgCO}_2\text{e} = 3.515,2 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

viii. Resumen

Tabla 32 - Tabla resumen del cálculo de reducciones – Electrificación en reemplazo de GE II

Ítem	Escenario base	Escenario proyecto
Consumo eléctrico (kWh)	5.000	5.000
Consumo diésel (L)	1.666,67	-
Factor de emisión (kgCO ₂ e/kWh)	-	0,2021
Factor de emisión (kgCO ₂ e/L)	2,74	-
Emisión del escenario (kgCO ₂ e)	4.525,7	1.010,5
Reducción (kgCO ₂ e)	3.515,2	

4 Medición y Verificación (M&V) de Ahorros Energéticos

Si su organización está implementando un proyecto de eficiencia energética cuya tipología no se encuentra incluida en las reglas de contabilidad previamente mencionadas, existen protocolos de medición y verificación de ahorros energéticos que aplican el principio de aislamiento del proyecto establecido en la norma ISO 14064-2. Por lo tanto, la cuantificación del ahorro energético y su correspondiente conversión a reducción de emisiones puede presentarse en el esquema de reducción del Programa HuellaChile.

El Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Rendimiento (IPMVP), desarrollado por la *Efficiency Valuation Organization* (EVO), constituye el estándar global más reconocido para la medición y verificación de ahorros energéticos en proyectos de eficiencia energética. Su objetivo es establecer una metodología confiable, transparente y comparable para determinar los ahorros derivados de la implementación de Medidas de Mejora de Eficiencia Energética (MME).

El uso del IPMVP permite a las organizaciones demostrar de manera verificable los beneficios energéticos obtenidos, fortaleciendo la confianza de clientes, inversionistas y organismos reguladores. Asimismo, garantiza que los resultados reflejen de forma precisa el impacto de las acciones emprendidas, considerando factores técnicos, operacionales y de contexto.

4.1 Opciones de Medición dentro del IPMVP

El IPMVP define distintas opciones metodológicas según el tipo de proyecto y el alcance de la medición requerida. Entre ellas, las Opciones A y B corresponden a verificaciones aisladas, aplicables cuando se desea evaluar el desempeño de equipos o sistemas específicos dentro de una instalación.

Figura 2 - Opciones A y B del IPMVP para el aislamiento de la MMEE



4.1.1 Opción A: Medición de parámetros clave

La Opción A consiste en verificar, de forma aislada, la medida de eficiencia energética implementada, midiendo uno o varios parámetros clave que tienen una incidencia significativa en el consumo energético.

- Las mediciones pueden realizarse de forma puntual o continua, siendo esta última la que otorga mayor solidez a los resultados.
- Es indispensable contar con datos históricos de consumo y operación para establecer adecuadamente la línea base.
- El enfoque de esta opción se centra en los parámetros críticos del desempeño energético, mientras que otros valores menos relevantes pueden estimarse o mantenerse constantes.

Esta opción es adecuada para medidas de bajo impacto o cuando el costo de una medición exhaustiva no se justifica.

4.1.2 Opción B: Medición completa de todos los parámetros

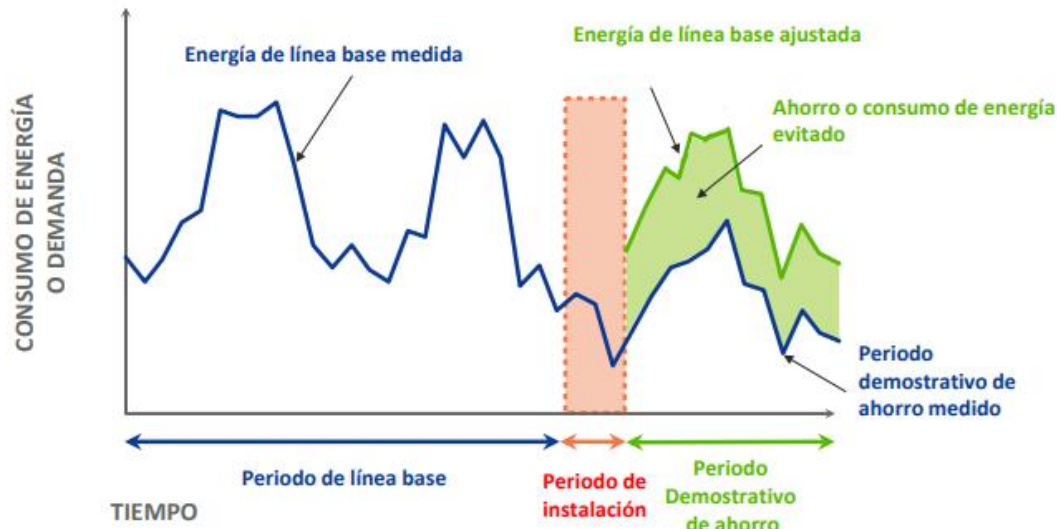
La Opción B también corresponde a una verificación aislada, pero implica la medición directa y continua de todos los parámetros significativos que afectan el consumo energético del sistema o equipo evaluado.

- Permite una cuantificación más precisa de los ahorros, al eliminar la necesidad de estimaciones.
- Es la opción recomendada cuando el proyecto tiene una relevancia energética significativa, o cuando los resultados serán usados en contratos de desempeño energético o esquemas de pago por ahorro.
- Requiere instrumentación permanente y un seguimiento detallado de las variables operacionales.

4.2 Periodos de Medición

La correcta definición de los periodos de medición es esencial para garantizar la trazabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos bajo las opciones A y B del IPMVP.

Figura 3 - Ahorro o consumo de energía evitado o demanda de energía



4.2.1 Periodo de Línea Base

El periodo de línea base corresponde al intervalo previo a la implementación de las MMEE, durante el cual se recopilan datos de consumo y variables que influyen en el uso de energía. Este debe:

- Representar todos los modos de operación del equipo o sistema (desde máxima a mínima demanda).
- Incluir únicamente periodos en que se conozcan los factores que afectan el consumo energético, tales como variables independientes (clima, producción, ocupación) y factores estáticos (horarios de operación, configuración del sistema).
- Coincidir con el periodo inmediatamente anterior a la instalación de las MMEE, para reflejar las condiciones reales previas.
- Abarcar un ciclo completo de funcionamiento, de preferencia un año calendario o un ciclo operativo equivalente.

La recopilación y documentación de factores estáticos, como las horas de funcionamiento o los parámetros de control, es fundamental para aplicar ajustes durante el periodo de reporte.

4.2.2 Periodo de Instalación

El periodo de instalación cubre la fase durante la cual se implementan las MMEE y se realizan verificaciones operacionales. En esta etapa deben identificarse posibles cambios en factores estáticos que puedan requerir ajustes no rutinarios en los cálculos de ahorro.

Dependiendo de la opción seleccionada (A o B) y de los límites de medición, las mediciones del periodo de reporte pueden comenzar una vez finalizada la verificación operacional.

4.2.3 Periodo de Reporte

El periodo de reporte comprende el intervalo en el cual se miden y verifican los ahorros obtenidos, comparándolos con la línea base.

- Debe abarcar al menos un ciclo completo de operación del equipo o sistema.
- Su duración dependerá de la naturaleza del proyecto, la vida útil de las MMEE y los objetivos de seguimiento.
- Si se reduce la frecuencia de las mediciones después de la verificación inicial, se recomienda reforzar la supervisión in situ para asegurar el mantenimiento de los ahorros.

Las mediciones o ahorros verificados de un periodo de reporte anterior no deben utilizarse como base para suponer ahorros futuros.

4.3 Metodología de Cálculo y Análisis

El plan de Medición y Verificación (M&V) debe definir de manera explícita los procedimientos de análisis de datos, los modelos estadísticos y las hipótesis empleadas para calcular los ahorros energéticos, conforme a las ecuaciones establecidas por el IPMVP.

Para cada modelo se deben identificar las variables independientes, dependientes y estáticas, junto con sus coeficientes, constantes y parámetros estadísticos relevantes (como R^2 , CV(RMSE), MBE y estadístico t).

Los reportes de M&V deben incluir las estadísticas de bondad de ajuste y los criterios de aceptación del modelo de línea base, de acuerdo con los siguientes valores mínimos requeridos para su aprobación:

Tabla 33 - Condiciones estadísticas para la aprobación del modelo

Criterio de ajuste	Condición mínima para aprobación del modelo
Coeficiente de determinación (R^2)	Mayor a 0,75
Estadística t	Mayor que 2
Coeficiente de Variación de la Raíz del Error Cuadrático Medio (CV(RMSE))	Menor a 20 %
Sesgo	Menor a 0,005 %

El sesgo del modelo se calcula con el propósito de evaluar la tendencia sistemática del modelo a sobrestimar o subestimar los valores observados, según la siguiente expresión:

$$\text{Sesgo} = \frac{\text{Suma del error del modelo}}{\text{Suma de los valores observados}} = \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)}{\sum_i y_i}$$

El Coeficiente de Variación de la Raíz del Error Cuadrático Medio (CV(RMSE)) se calcula a partir del RMSE del modelo, definido como:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

A partir de este valor, el coeficiente de variación se obtiene como:

$$CV(RMSE) = \frac{RMSE}{\bar{y}} * 100$$

Donde:

- y_i = *valor observado o medido*
- $\hat{y}_i$ = *valor predicho del modelo*
- $\bar{y}$ = *promedio de los valores observados o medidos*
- n = *número de observaciones*

El CV(RMSE) expresa el error relativo en porcentaje respecto al promedio de los datos, proporcionando una medida estándar de la precisión del modelo.

En la mayoría de los contextos de modelado y estadística, el error típico y la raíz del error cuadrático medio (REMC o RMSE) se consideran prácticamente equivalentes, aunque la denominación puede variar según el enfoque.

El cumplimiento de estos parámetros asegura que el modelo de línea base tiene la precisión y representatividad necesarias para la cuantificación de los ahorros energéticos y la verificación de resultados, conforme a los lineamientos del IPMVP.

Por último, se recomienda utilizar las herramientas de análisis de datos de Microsoft Excel para calcular el coeficiente de determinación (R^2), los estadísticos t y el coeficiente de variación de la raíz del error cuadrático medio (CV(RMSE)), ya que permiten obtener de forma directa los principales indicadores de ajuste y significancia del modelo. En la siguiente tabla se presentan los resultados más relevantes generados por dichas herramientas, útiles para la evaluación y validación del modelo de regresión.

Tabla 34 – Herramienta Excel de análisis de datos de la regresión

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,99389689
Coeficiente de determinación R^2	0,987831029
R^2 ajustado	0,986614132
Error típico	399,2082319

Observaciones 12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados
Regresión	1	129368271,5	129368271,5
Residuos	10	1593672,125	159367,2125
Total	11	130961943,7	

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t
Intercepción	8310,695652	1245,136867	6,674523801
Variable X 1	175,1577075	6,14773095	28,49144

4.4 Ejemplos de aplicación

4.4.1 Ejemplo M&V IPMVP- Opción B: Modernización de bombas con VFD

4.4.1.1 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la sustitución e instalación de variadores de frecuencia (VFD) en las unidades de bombeo, con el propósito de optimizar la operación hidráulica y reducir el consumo eléctrico, asegurando al mismo tiempo el cumplimiento de los caudales y presiones requeridos en el sistema.

4.4.1.2 Datos de línea base

Se registraron durante 12 meses los promedios mensuales de caudal y consumo eléctrico, con el fin de construir el modelo de línea base (E vs Q), correspondiente a la situación previa a la implementación del proyecto. A continuación, se presenta la tabla con los datos mensuales:

Tabla 35 - Datos línea de base Año 2024

Mes	Caudal promedio mensual (m³/h)	Energía (kWh)
ene-24	180	39.765
feb-24	165	36.833
mar-24	190	42.585
abr-24	200	43.683
may-24	210	45.097
jun-24	220	46.915
jul-24	230	48.744
ago-24	225	47.317
sept-24	215	45.846

oct-24	205	43.903
nov-24	195	42.368
dic-24	185	40.554

Resultando en el siguiente modelo:

- **Modelo de regresión lineal:** $E = 175,16 \times Q + 8.310,7$
- **Coefficiente de determinación** $R^2 = 0.9878$

Figura 4 - Gráfico de dispersión de los datos de línea base

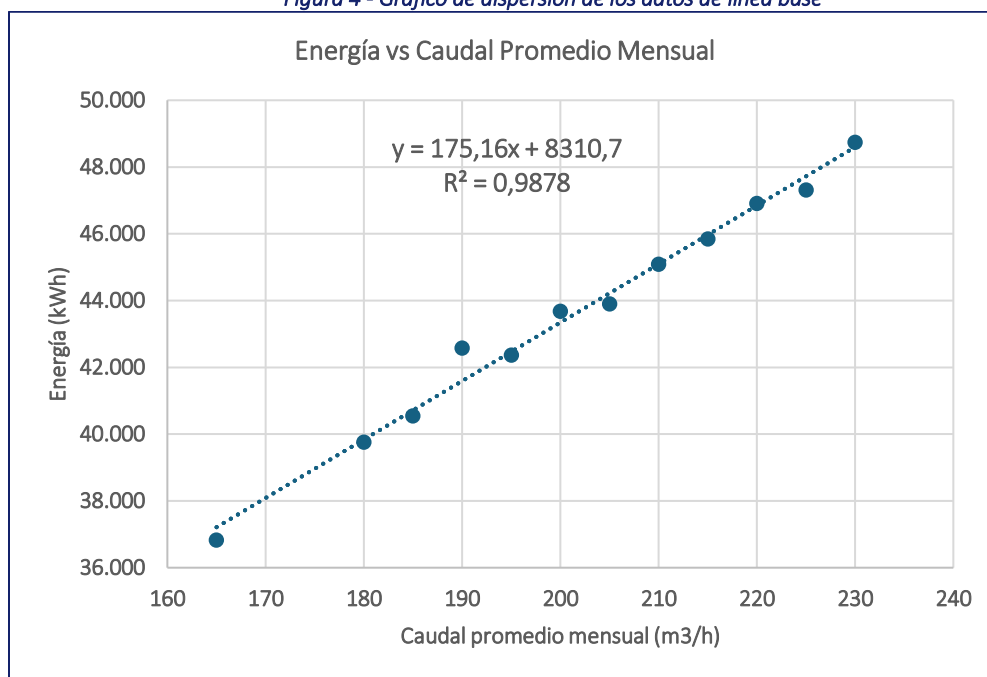


Tabla 36 - Análisis de la regresión

Análisis	Valor	Criterio IPMVP		Cumple (Si/No)
Estadístico t Variable	28,49	>	2	Si
Coefficiente de determinación (R^2)	0,9878	>	0,75	Si

Análisis	Valor	Criterio IPMVP		Cumple (Si/No)
Coefficiente de variación de la raíz del error medio cuadrático (CV(RMSE))	0,91%	<	20%	Si
Sesgo	0,00107%	<	0,005%	Si

Por lo que cumple con los criterios de aprobación del modelo.

4.4.1.3 Mediciones Post-Proyecto

Tabla 37 - Mediciones post-implementación y análisis de regresión

Mes	Caudal (m³/h)	Energía Modelada (kWh)	Energía Medida (kWh)	Ahorro (kWh)
ene-25	177	39.314	34.225	5.089
feb-25	167	37.562	32.117	5.445
mar-25	189	41.416	35.469	5.947
abr-25	204	44.043	37.498	6.545
may-25	208	44.744	38.843	5.901
jun-25	223	47.371	40.161	7.210
jul-25	226	47.897	41.885	6.012
ago-25	226	47.897	41.086	6.811
sept-25	212	45.445	39.552	5.893
oct-25	207	44.569	37.561	7.008
nov-25	194	42.292	36.458	5.834
dic-25	188	41.241	34.791	6.450
SUMA		523.791	449.646	74.145

4.4.1.4 Interpretación de Resultados

El modelo de línea base presenta un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.9878$, lo que evidencia una fuerte correlación entre el caudal de agua bombeada y el consumo eléctrico. Tras la instalación de los variadores de frecuencia, se observó una reducción promedio del consumo energético de aproximadamente 14%, lo que demuestra una mejora significativa en la eficiencia del sistema. En conjunto, esta optimización se traduce en un ahorro total anual de 74.145 kWh.

4.4.2 Ejemplo M&V IPMVP- Opción B: Intercambiador de calor aire-aire

4.4.2.1 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la instalación de intercambiadores de calor aire-aire, destinados a precalentar el aire de proceso utilizando el calor del aire de escape, con el objetivo principal de reducir el consumo de gas natural del quemador de apoyo. La medición y verificación se realiza bajo la Opción B del protocolo IPMVP, correspondiente a una medición aislada, en la cual se registran de forma directa el consumo de gas natural y el caudal de aire, utilizando además las temperaturas de entrada y salida como parámetros de soporte para validar el comportamiento térmico del sistema. El periodo de línea base corresponde a los meses de enero a diciembre de 2024, durante los cuales se recopilaban los datos previos a la implementación de la

medida. Posteriormente, el periodo post-proyecto abarca de enero a diciembre de 2025, con mediciones realizadas tras la instalación del intercambiador de calor, a fin de cuantificar y verificar los ahorros energéticos en el consumo de gas natural obtenidos.

- **Variable independiente:** Caudal promedio mensual de aire de proceso (m^3/h).
- **Variable dependiente:** Consumo mensual de gas natural del quemador de apoyo (m^3/mes).

4.4.2.2 Datos de línea base

Se registraron durante 12 meses los promedios mensuales de caudal de aire y consumo de gas natural, con el fin de construir el modelo de línea base (GN vs Q), correspondiente a la situación previa a la implementación del proyecto. A continuación, se presenta la tabla con los datos mensuales:

Tabla 38 - Datos línea de base Año 2024

Mes	Caudal promedio mensual de aire (m^3/h)	Consumo GN (m^3)
ene-24	11,2	603
feb-24	10,9	573
mar-24	12,4	710
abr-24	13,1	676
may-24	13,8	735
jun-24	14,2	755
jul-24	14,6	821
ago-24	13,9	717
sept-24	12,8	684
oct-24	12,3	651
nov-24	11,5	641
dic-24	10,7	570

Resultando en el siguiente modelo:

- **Modelo de regresión lineal:** $E = 53,578 \times Q + 2,0206$
- **Coefficiente de determinación** $R^2 = 0.9065$

Figura 5 - Gráfico de dispersión de los datos de línea base

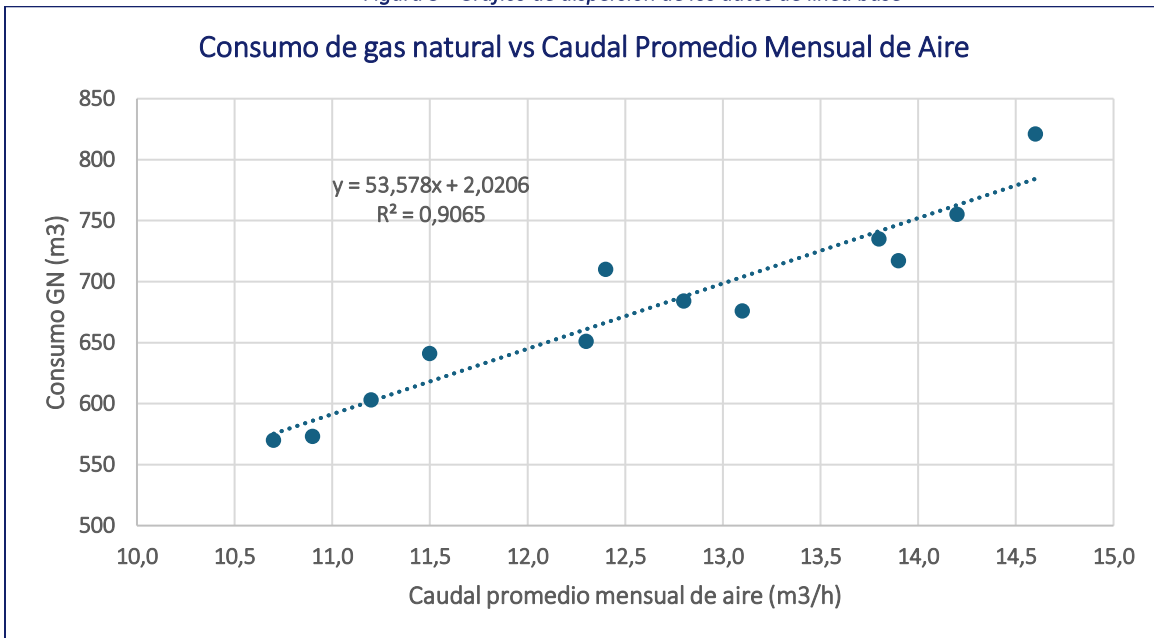


Tabla 39 - Análisis de la regresión

Análisis	Valor	Criterio IPMVP		Cumple (Si/No)
Estadístico t	9,849	>	2	Si
Variable				
Coefficiente de determinación (R^2)	0,9065	>	0,75	Si
Coefficiente de variación de la raíz del error medio cuadrático (CV(RMSE))	3,57%	<	20%	Si
Sesgo	0,00054%	<	0,005%	Si

Por lo tanto, el modelo cumple con los criterios de aprobación establecidos, siendo válido para predecir el consumo de gas natural en función del caudal de aire de proceso. De esta manera, permite estimar el consumo que se habría producido en ausencia del proyecto, constituyendo una base confiable para la cuantificación de los ahorros energéticos obtenidos.

4.4.2.3 Mediciones Post-Proyecto

Tabla 40 - Mediciones post-implementación y análisis de regresión

Mes	Caudal (m³/h)	Energía Modelada (kWh)	Energía Medida (kWh)	Ahorro (kWh)
ene-25	11,60	565	623,5	58,5
feb-25	11,20	540	602,1	62,1
mar-25	12,70	660	682,5	22,5
abr-25	13,40	642	720,0	78,0
may-25	14,10	686	757,5	71,5
jun-25	14,60	710	784,3	74,3
jul-25	14,90	755	800,3	45,3
ago-25	14,10	683	757,5	74,5
sept-25	13,10	650	703,9	53,9
oct-25	12,70	622	682,5	60,5
nov-25	11,80	606	634,2	28,2
dic-25	11,00	548	591,4	43,4
SUMA		7.667	8.340	673

4.4.2.4 Interpretación de Resultados

El modelo de línea base obtuvo un $R^2 = 0,9065$, evidenciando una fuerte correlación entre el caudal de aire y el consumo de gas natural. Los indicadores complementarios —estadístico t, sesgo (MBE) y CV(RMSE)— se encuentran dentro de los parámetros de validación IPMVP, confirmando la solidez del modelo. Tras la instalación de los intercambiadores de calor aire-aire, las mediciones post-proyecto mostraron una reducción promedio del 8,1 % en el consumo de gas natural, equivalente a 673 m³ anuales, validando la efectividad de la medida bajo la Opción B del IPMVP.