

**Universidad Autónoma de Baja California**

**Facultad de Ingeniería**

**Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería**



**Metodología para el Diagnóstico Energético y Diseño de un  
Sistema de Gestión de la Energía en Escuelas Primarias  
de la Zona Urbana de Mexicali, B.C.**

**Tesis para obtener el grado de:**

Maestro en Ingeniería

**Presentado por:**

Ada Josefina Ordaz Torres

**Director de tesis:**

Dr. José Alejandro Suástegui Macías

Mexicali, Baja California, junio de 2024

Dedicado a todos los niños del sistema educativo estatal de Baja California.

Espero de corazón que esta investigación pueda llegar a  
contribuir en su formación académica y personal.

## Agradecimientos

Agradezco profundamente todo el apoyo recibido por parte de mi mamá, Ada Torres. No estaría aquí sin tu constante guía, entendimiento y paciencia, así como palabras de aliento para terminar.

A mi tutor el Dr. José Alejandro Suástegui, agradezco el haberme invitado a participar al programa de maestría, haber dedicado su tiempo y apoyo con facilidades para mi proyecto, así como dado consejos y guía.

A mis abuelos, por enseñarme el valor de la fuerza y resiliencia.

A las familias Martínez Godínez y Vicente Medina por ser mi segunda familia en Mexicali y haberme recibido en su hogar durante la realización del presente proyecto.

A mis amigos Karlita, Arlene, Grecia, María, César, Jorge y Kenia. Gracias por hacer este proceso más divertido.

A mis maestras que considero también amigas, Marlene Zamora, Noemí Lizárraga y Dulce Álvarez. Gracias por sus palabras de aliento, así como guía y apoyo en este proceso.

A mis profesores Ismael Mendoza, Mildrend López, Angélica López, Moisés Galindo, Luis González, Pedro Rosales, Alexis Acuña, Edgar Valenzuela y Aída López. Gracias por el conocimiento aportado a lo largo de esta investigación.

A mis compañeros de laboratorio, Grecia, Euyoqui y Jesus, por su apoyo, guía y amistad en el transcurso de este proyecto.

A Fabiola por siempre alentarme y creer en mí. A Francisco por su guía espiritual.

Agradezco a los administrativos, docentes, intendentes y alumnos de las escuelas evaluadas en la presente investigación, por abrirme sus puertas y recibirme de la manera en que lo hicieron. Un agradecimiento especial a Alex Contreras, Cosme Castro, Armando Montejano, Nora González, Mariana Cano, Erika Campos, Maribel Jiménez,

Sergio Martínez, Faviola Castro, Gaby Orozco, Francisca Curiel, José Palacios y Patricia Ponce.

A los estudiantes del programa de Ingeniero en Energías Renovables por su colaboración en la realización del presente proyecto, especialmente a Ceci Hernández, por su apoyo en la elaboración del Sistema de Gestión de la Energía.

Al Instituto de Servicios Educativos y Pedagógicos del Gobierno de Baja California por autorizar mi proyecto y recibirme en sus instalaciones, en especial al Lic. Miguel Ángel Buenrostro, Ing. Fernando Ramos y Arq. Yuridia Sosa y Silva.

Al laboratorio de Ing. en Energías Renovables y a Ricardo González, por el apoyo en la realización de la investigación, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo económico brindado.

## Resumen

El constante aumento de la demanda energética mundial tiene efectos adversos al cambio climático. Un estudio pronostica que la ciudad de Mexicali contará con incrementos significativos en las temperaturas mínimas medias de sus estaciones ([García Cueto et al., 2013](#)). Para mitigar los efectos de dicho aumento de temperatura en el confort térmico, se incrementará la demanda eléctrica al hacerse un mayor uso de los sistemas de aire acondicionado (A.A.). Considerando el déficit energético de generación eléctrica en los meses de verano del estado de Baja California y tomando en cuenta que la ciudad de Mexicali es la que tiene el mayor consumo, se puede inferir que dicha ciudad pudiera verse especialmente afectada de manera negativa por las situaciones mencionadas ([CENACE, 2023](#)).

Actualmente, no existen procedimientos que tiendan a la mejora del desempeño energético de las escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali. Así mismo, la eficiencia de sus sistemas de A.A. no cumple con el valor requerido por las Normas Oficiales Mexicanas vigentes de eficiencia energética (NOM-ENER) correspondientes. Por otra parte, el sector educativo destina una cantidad considerable de recurso económico al pago del servicio eléctrico de las escuelas del estado, siendo el mayor gasto dentro del concepto de servicios. La dificultad para garantizar el confort térmico en las escuelas puede llegar a afectar el desempeño académico de los alumnos, el desempeño de los docentes y administrativos, así como las condiciones laborales de éstos.

Para este trabajo se seleccionan 4 escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali por medio de una muestra no probabilística. Se simula y evalúa su comportamiento energético y proponen acciones de mejora de eficiencia energética hacia éste, así como se realiza un análisis de varianza y evaluación económica, tomando en cuenta las características, requisitos y/o métodos indicados por las NOM-ENER relevantes para la presente investigación.

Como parte de los objetivos, esta investigación identifica las acciones y procesos que mejoran significativamente el desempeño energético e indicadores relacionados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las escuelas primarias de Mexicali, B.C, a través de un diagnóstico energético y Sistema de Gestión de la Energía (SGEn), los cuales consisten en:

- Caracterización de las escuelas.
- Determinación de indicadores alineados a los ODS.
- Propuesta de Acciones de Mejora del Desempeño Energético (AMDEn).
- Evaluación económica de las AMDEn.
- Determinación del efecto de las AMDEn.

Un efecto potencial de la implementación de la metodología propuesta y Sistema de Gestión de la Energía es la reducción del consumo eléctrico de las escuelas primarias de tal manera que se logre disminuir el pago destinado del servicio eléctrico, satisfacer el confort térmico y mejorar las condiciones para alumnos, docentes y administrativos, incorporando tecnología de alta eficiencia, así como AMDEn sin costo, para trabajar de la mano con el Gobierno del Estado y avanzar hacia metas globales de sostenibilidad al incorporar a los ODS.

Los resultados más relevantes de la investigación son los siguientes: se puede llegar a ahorrar hasta el 80% en energía eléctrica con las AMDEn; las AMDEn más significativas son las que no requieren costo de inversión, así como las relacionadas a la sustitución de A.A. (la primera siendo más significativa); las escuelas no cumplen con los valores requeridos por las NOM-ENER de sistemas de A.A. (NOM-011-ENER-2006 y la NOM-023-ENER-2018); los alumnos se encuentran satisfechos con el sistema de A.A., a diferencia de los docentes; y la evaluación económica muestra que en la mayoría de las pruebas experimentales seleccionadas se tiene un VAN positivo en los sistemas de A.A. tipo minisplit, mientras que en los de paquete no.

## Abstract

The constant increase in global energy demand has adverse effects on climate change. A study predicts that the city of Mexicali will have significant increases in the average minimum temperatures of its seasons ([García Cueto et al., 2013](#)). To mitigate the effects of said temperature increase on thermal comfort, electrical demand will increase due to greater use of air conditioning systems. Considering the energy deficit of electricity generation in the summer months of the state of Baja California and considering that the city of Mexicali is the one with the highest consumption, it can be inferred that said city could be especially negatively affected by the mentioned events ([CENACE, 2023](#)).

Currently, there are no procedures that tend to improve the energy performance of elementary schools in the urban area of Mexicali. Likewise, the efficiency of their air conditioning systems does not comply with the value required by their equivalent current Official Mexican Energy Efficiency Standards. On the other hand, the educational sector allocates a considerable amount of economic resources to pay the electrical service of the state's schools, being the largest expense within the concept of services. The possible difficulty in guaranteeing thermal comfort in schools can affect the academic performance of students, the performance of teachers and staff, as well as their working conditions.

For this investigation, 4 primary schools in the urban area of the city of Mexicali are selected through a non-probabilistic sample. Its energy behavior is simulated and evaluated, actions to improve energy efficiency towards it are proposed, as well as an analysis of variance and economic evaluation are carried out, considering the characteristics, requirements and/or methods indicated by the current Official Mexican Energy Efficiency Standards relevant to the present investigation.

As part of the objectives, this research identifies the actions and processes that significantly improve the energy performance and indicators related to the Sustainable Development Goals of the elementary schools of Mexicali, B.C, through an energy diagnosis and energy management system, which consists of:

- Characterization of schools.
- Establishment of indicators aligned with the Sustainable Development Goals.
- Proposal of actions to improve energy performance.
- Economic evaluation of proposed actions.
- Determination of the effect of proposed actions.

A potential effect of the implementation of the proposed methodology and energy management system is the reduction of electrical consumption in elementary schools in such a way that it is possible to reduce the payment for electrical service, satisfy thermal comfort and improve the conditions for students, teachers and staff, incorporating high-efficiency technology, as well as no cost actions, to work hand in hand with the State Government and advance towards global sustainability goals by incorporating the Sustainable Development Goals.

The most relevant results of the research are the following: up to 80% of electrical energy can be saved with the proposed actions; the most significant actions are those that do not require investment costs, as well as those related to the replacement of air conditioning (the first being more significant); The schools do not comply with the values required by the current Official Mexican Energy Efficiency Standards of air conditioning systems (NOM-011-ENER-2006 and NOM-023-ENER-2018); The students are satisfied with the air conditioning systems, unlike the teachers; and the economic evaluation shows that in the majority of the selected experimental tests there is a positive Net Present Value in the minisplit air conditioning systems, while in package ones not.

## Acrónimos y Siglas

A.A.: Aire acondicionado

AMDEn: Acciones de Mejora del Desempeño Energético

APF: Administración Pública Federal

ASI: Ahorro Sistemático Integral

CDS: Comisión sobre el Desarrollo Sostenible

CFE: Comisión Federal de Electricidad

CONAE: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

CONUEE: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

DPEA: Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado

EPSEE: Escuelas Públicas del Sistema Educativo Estatal

FIDE: Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

FIPATERM: Fideicomiso para el Aislamiento Térmico

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GIZ: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

IDS: Indicadores de Desarrollo Sostenible

IEA: International Energy Agency

ISEP: Instituto de Servicios Educativos y Pedagógicos

kWh: Kilowatt hora

LBEEn: Línea de Base Energética

NOM-ENER: Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética

ODM: Objetivos de Desarrollo del Milenio

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

REEE: Relación de Eficiencia Energética Estacional

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SGEEn: Sistema de Gestión de la Energía

SIBC: Sistema Interconectado Baja California

VAN: Valor Actual Neto

USEn: Uso Significativo de la Energía

# Índice

<b>Dedicatoria.....</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>II</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>VI</b>
<b>Acrónimos y Siglas.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Justificación .....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 General .....	5
1.3.2 Específicos.....	5
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Alcances y limitaciones .....	6
<b>Capítulo 2. Antecedentes.....</b>	<b>7</b>
2.1 Eficiencia energética .....	7
2.2 Gestión energética .....	10
2.3 Desarrollo sostenible.....	12
<b>Capítulo 3. Marco teórico.....</b>	<b>13</b>
3.1 Eficiencia energética .....	13
3.2 Normas Oficiales Mexicanas .....	14
3.3 Eficiencia de los sistemas de Aire Acondicionado .....	14
3.4 Sistema de Gestión de la Energía .....	15
3.5 Diagnóstico energético.....	16
3.6 Desarrollo Sostenible e indicadores .....	33
3.7 Trabajos recientes.....	35
3.7.1 Objetivos de Desarrollo del Milenio.....	37
3.8 Crítica a los Objetivos de Desarrollo Sostenible y Objetivos de Desarrollo del Milenio	39
3.9 Modelos de gestión energética .....	40
<b>Capítulo 4. Metodología .....</b>	<b>43</b>
4.1 Sujeto bajo estudio.....	43
4.1.1 Variables a estudiar .....	46
4.2 Técnicas y materiales a utilizar.....	47

4.2.1	NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. ....	49
4.2.2	NORMA Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. ....	49
4.2.3	NORMA Oficial Mexicana NOM-011-ENER-2006, Eficiencia Energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado y la NORMA Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2018, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire Límites, métodos de prueba y etiquetado.....	50
4.2.4	Aislamiento térmico de Subprograma ASI .....	50
4.2.5	Equipo y softwares para definir y simular estado actual.....	51
4.3	Validez y confiabilidad.....	57
4.4	Procedimiento .....	58
4.5	Plan de análisis de resultados .....	53
<b>Capítulo 5. Resultados</b>	.....	<b>55</b>
5.1	Comportamiento energético, características e indicadores de escuelas primarias típicas de la zona urbana de Mexicali.....	55
5.1.1	Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética.....	57
5.1.2	Características escuelas.....	60
5.1.3	Registros de formatos y encuestas contestadas .....	74
5.1.4	Mediciones puntuales con analizador de redes.....	80
5.2	Simulación térmica y eléctrica de las escuelas .....	83
5.3	Consumo eléctrico con aplicación de Acciones de Mejora del Desempeño Energético 91	
5.4	Ahorro con Acciones de Mejora del Desempeño Energético .....	94
5.5	Análisis de varianza .....	100
5.6	Evaluación económica .....	108
5.7	Diseño del Sistema de Gestión de la Energía.....	117
<b>Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones</b>	.....	<b>122</b>
<b>Capítulo 7. Referencias</b>	.....	<b>129</b>
<b>ANEXO I</b>	.....	<b>134</b>
<b>ANEXO II</b>	.....	<b>135</b>
<b>ANEXO III</b>	.....	<b>137</b>
<b>ANEXO IV</b>	.....	<b>138</b>
<b>ANEXO V</b>	.....	<b>139</b>

# Índice de figuras

## Capítulo 3. Marco Teórico

Figura 3.1. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	34
Figura 3.2. Objetivos de Desarrollo del Milenio .....	37
Figura 3.3. Objetivos de Desarrollo del Milenio a Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	39

## Capítulo 4. Metodología

Figura 4.1. Variables a estudiar.....	47
Figura 4.2. Valores empleados en NORMA NOM-008-ENER-2001 .....	49
Figura 4.3. Objetivos de Desarrollo Sostenible, metas e indicadores asociados a la presente investigación.. .....	56
Figura 4.4. Graphical abstract de la investigación. ....	61

## Capítulo 5. Resultados

Figura 5.1. Consumo mensual de las cuatro escuelas en kWh real. ....	56
Figura 5.2. Ejemplo registro características escuelas. ....	75
Figura 5.3. Ejemplo registro características escuelas (continuación). ....	76
Figura 5.4. Ejemplo encuesta respondida por una alumna. ....	77
Figura 5.5. Ejemplo encuesta respondida por una alumna (continuación). ....	78
Figura 5.6. Ejemplo encuesta respondida por una docente. ....	79
Figura 5.7. Ejemplo encuesta respondida por una docente (continuación). ....	80
Figura 5.8. Medición completa de la potencia eléctrica de la Escuela 1. ....	81
Figura 5.9. Medición parcial de la potencia eléctrica de la Escuela 1. ....	81
Figura 5.10. Medición parcial de la potencia eléctrica de la Escuela 3. ....	82
Figura 5.11. Medición parcial de la potencia eléctrica de la Escuela 3 (continuación). ....	82
Figura 5.12. Medición de la potencia eléctrica completa de la Escuela 4. ....	83
Figura 5.13. Consumo real vs simulado de la Escuela 1. ....	85
Figura 5.14. Consumo real vs simulado de la Escuela 2. ....	87
Figura 5.15. Consumo real vs simulado de la Escuela 3. ....	89
Figura 5.16. Consumo real vs simulado de la Escuela 4. ....	90
Figura 5.17. Ahorro eléctrico Escuela 1. ....	94
Figura 5.18. Ahorro económico Escuela 1. ....	95
Figura 5.19. Ahorro eléctrico Escuela 2. ....	96
Figura 5.20. Ahorro económico Escuela 2. ....	96
Figura 5.21. Ahorro eléctrico Escuela 3. ....	98
Figura 5.22. Ahorro económico Escuela 3. ....	98
Figura 5.23. Ahorro eléctrico Escuela 4. ....	99
Figura 5.24. Ahorro económico Escuela 4. ....	99
Figura 5.25. Diagrama de Pareto para la Escuela 1. ....	101
Figura 5.26. Diagrama de Pareto para la Escuela 2. ....	103
Figura 5.27. Diagrama de Pareto para la Escuela 3. ....	105
Figura 5.28. Diagrama de Pareto para la Escuela 4. ....	107
Figura 5.29. SGEEn de EPSEE con descripción .....	121

## Anexos

Figura 10.1. Conexión de analizador de redes a centro de carga de escuela. ....	139
Figura 10.2 Proceso de conexión. ....	139
Figura 10.3. Entrevistas a ocupantes del edificio. ....	139

## Índice de tablas

Capítulo 2. Antecedentes	
Tabla 2.1. Políticas y lineamientos relacionados a la gestión energética .....	11
Capítulo 3. Marco Teórico	
Tabla 3.1. Características de diagnósticos energéticos. ....	31
Tabla 3.2. Modelos de gestión energética y sus características.....	40
Capítulo 4. Metodología	
Tabla 4.1. Factores del diseño de experimentos de las escuelas a evaluar. ....	44
Tabla 4.2. Muestra probabilística estratificada de escuelas primarias. ....	46
Tabla 4.3. Categorías y codificación de respuestas para las encuestas. ....	48
Tabla 4.4. Cumplimiento y detección de características de escuelas por medio de las NOM-ENER y Subprograma ASI. ....	51
Tabla 4.5. Equipos de medición para definir estado actual. ....	51
Tabla 4.6. Softwares para simular comportamiento energético y generar escenarios de optimización.....	52
Tabla 4.7. Variables con su descripción y unidades para caracterizar escuelas primarias.....	54
Tabla 4.8. Indicadores de desempeño energético con unidades y Objetivo de Desarrollo Sostenible relacionado.....	55
Tabla 4.9. Actividades de la presente investigación vinculadas a pasos de la NOM NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2019. ....	58
Tabla 4.10. Escuelas primarias a seleccionar con sus respectivos factores y niveles. .	50
Tabla 4.11. Características simulaciones.....	51
Tabla 4.12. Factores, niveles y variable de respuesta.....	53
Tabla 4.13. Diseño de experimentos de AMDEn a implementar. ....	54
Capítulo 5. Resultados	
Tabla 5.1. Escuelas evaluadas en la investigación. ....	55
Tabla 5.2. Rúbrica empleada para selección de AMDEn. ....	57
Tabla 5.3. Factores del diseño de experimentos con niveles. ....	59
Tabla 5.4. Diseño de experimentos con pruebas experimentales. ....	59
Tabla 5.5. Equipos usados en la escuela con su respectiva demanda, cantidad y horas a la semana utilizados. ....	61
Tabla 5.6. Variables que caracterizan el desempeño energético de la Escuela 1, con su descripción, valores y unidades, así como los ODS con los que se relacionan.....	61
Tabla 5.7. Indicadores de desempeño energético de la Escuela 1.....	63
Tabla 5.8. Equipos usados en la escuela con su respectiva demanda, cantidad y horas a la semana utilizados en la Escuela 2. ....	64
Tabla 5.9. Variables que caracterizan el desempeño energético de la Escuela 2 con su descripción, valores y unidades, así como los ODS con los que se relacionan.....	64
Tabla 5.10. Indicadores de desempeño energético de la Escuela 2.....	66

Tabla 5.11. Equipos usados en la escuela con su respectiva demanda, cantidad y horas a la semana utilizados en la Escuela 3. ....	67
Tabla 5.12. Variables que caracterizan el desempeño energético de la Escuela 3, con su descripción, valores y unidades, así como los ODS que se relacionan. ....	68
Tabla 5.13. Indicadores de desempeño energético de la Escuela 3. ....	70
Tabla 5.14. Equipos usados en la escuela con su respectiva demanda, cantidad y horas a la semana utilizados en la Escuela 4. ....	71
Tabla 5.15. Variables que caracterizan el desempeño energético de la Escuela 4, con su descripción, valores y unidades, así como los ODS que se relacionan. ....	71
Tabla 5.16. Indicadores de desempeño energético de la Escuela 4. ....	73
Tabla 5.17. Consumo real vs simulado con error y ajustado de la Escuela 1. ....	84
Tabla 5.18. Consumo simulado, real y error de verano e índice de correlación anual Escuela 1. ....	85
Tabla 5.19. Consumo real vs simulado con error y ajustado de la Escuela 2. ....	86
Tabla 5.20. Consumo simulado, real y error de verano e índice de correlación anual de Escuela 2. ....	86
Tabla 5.21. Consumo real vs generado con error y ajustado de la Escuela 3. ....	87
Tabla 5.22. Consumo simulado, real y error de verano e índice de correlación anual de Escuela 3. ....	88
Tabla 5.23. Consumo real vs generado con error y simulado de la Escuela 4. ....	89
Tabla 5.24. Consumo simulado, real y error de verano e índice de correlación anual de Escuela 4. ....	90
Tabla 5.25. Consumo con implementación de AMDEN de la Escuela 1. ....	91
Tabla 5.26. Consumo con implementación de AMDEN de la Escuela 2. ....	92
Tabla 5.27. Consumo con implementación de AMDEN de la escuela 3. ....	93
Tabla 5.28. Consumo con implementación de AMDEN de la Escuela 4. ....	93
Tabla 5.29. Consumo y costo eléctrico acumulado en diez años y el costo de implementación de AMDEN de la Escuela 1. ....	109
Tabla 5.30. Evaluación económica de pruebas experimentales de la Escuela 1. ....	110
Tabla 5.31. Consumo y costo eléctrico acumulado en diez años y el costo de implementación de AMDEN de la Escuela 2. ....	111
Tabla 5.32. Evaluación económica de pruebas experimentales de Escuela 2. ....	112
Tabla 5.33. Consumo y costo eléctrico acumulado en diez años y el costo de implementación de AMDEN de la Escuela 3. ....	113
Tabla 5.34. Evaluación económica de pruebas experimentales de Escuela 3. ....	114
Tabla 5.35. Consumo eléctrico acumulado en diez años y el costo de implementación de AMDEN de la Escuela 4. ....	115
Tabla 5.36. Evaluación económica de pruebas experimentales de Escuela 4. ....	116
ANEXOS	
Tabla 6.1. NOM-ENER y Subprograma ASI empleados en la investigación con su objetivo y aplicación en ella. ....	134

# Capítulo 1.

## Introducción

Existe un constante aumento en la demanda energética mundial, el cual se debe principalmente al crecimiento económico, poblacional y tecnológico ([Yeager et al., 2012](#)). El aumento en la población mundial resulta en un crecimiento drástico del sector educativo; esto a su vez genera un aumento en el consumo energético por parte de dicho sector ([AlFaris et al., 2016](#)). De acuerdo con la International Energy Agency (IEA), el consumo energético mundial del año 2021 fue de 422,118 petajoules, 5% más que el del año anterior ([Secretaría de Energía \[SENER\], 2022](#)). Dicho consumo contribuye al calentamiento global al generar un aumento de gases contaminantes a la atmósfera, lo cual a su vez afecta negativamente al cambio climático. En el año 2023, se tuvo una emisión de 37.4 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> relacionadas al sector energético, aumentando 1.1% con respecto al año pasado, el equivalente a 410 millones de toneladas ([International Energy Agency, \[IEA\], 2024](#)).

Tejeda Martinez et al. realizaron una investigación donde estiman escenarios futuros de temperaturas extremas en México para la década de 2050. Encontraron que en zonas con un clima seco árido, la temperatura máxima extrema variará +8°C en la década de 2050, mientras que la temperatura mínima extrema variará +7.2 °C ([Tejeda Martinez et al., 2008](#)). Por otra parte, García Cueto et al. realizaron proyecciones para las temperaturas de la ciudad de Mexicali, B.C. para finales del siglo 21, proyectando que las temperaturas mínimas medias de las estaciones de verano y otoño habrán aumentado 4 °C y 4.2°C respectivamente ([García Cueto et al., 2013](#)).

Con los aumentos pronosticados en la temperatura, la adaptación a este fenómeno incrementará la demanda de enfriamiento, a su vez incrementando el consumo eléctrico ([Aufhammer & Mansur, 2014](#)). En una investigación que busca disminuir la demanda en el periodo punta con enfriamiento por medio del preencendido de sistemas de A.A., se encontró que el reducir la temperatura de dichos sistemas durante dicho periodo contra el encenderlos por un periodo de tiempo determinado previo al periodo punta a una

temperatura más alta, resultó en el incremento de la demanda en dicho periodo ([Chandan et al., 2015](#)). Por ende, debido a los aumentos en la temperatura, la adaptación a este fenómeno incrementará aún más la demanda eléctrica, además de dificultar el alcance del confort térmico en la ciudad.

El sistema interconectado de Baja California (SIBC) tiene una demanda máxima de 3,341 MW, de la cual el 48% le corresponde a la zona de Mexicali; en contraste, el SIBC cuenta con una capacidad instalada de 3,405 MW ([SENER, 2022](#)). Con el déficit energético proyectado en Baja California, se puede decir que la ciudad de Mexicali sería una de las más afectadas del país por el calentamiento global.

Desde el 2015 el progreso de la eficiencia energética (medida por intensidad energética) comienza a desacelerarse debido a varios factores, como un incremento en la producción en la industria de varios países y condiciones climáticas excepcionales ([IEA, 2019, p. 26](#)). Sumándose el impacto causado por la pandemia de COVID-19, se prevé una disminución en las inversiones en edificios energéticamente eficientes y equipos, por lo que la eficiencia energética estuvo estimada a progresar solamente .8% para 2020, cuando en 2019 y 2018 fue de 1.6% y 1.5% respectivamente ([IEA, 2020a, p. 10](#)).

En la ciudad de Mexicali, la cual se caracteriza por su elevada temperatura, dificultad para satisfacer el confort térmico y déficit energético, se hace indispensable la identificación de procesos y métodos orientados a la eficiencia energética de las escuelas primarias ubicadas en su zona urbana (por medio de un diagnóstico energético y diseño de SGE<sub>n</sub>) lo cual puede llegar a tener un importante impacto en el consumo eléctrico de dichas escuelas. Además de que la presente investigación se encuentra alineada a la agenda energética del gobierno de B.C., que busca promover la cultura de desarrollo sustentable y uso racional de la energía, así como involucrar un SGE<sub>n</sub> en el sistema educativo estatal buscando impulsar su eficiencia energética ([Gobierno de Baja California, 2022](#)).

## 1.1 Planteamiento del problema

Actualmente, no existen procedimientos que tiendan a la mejora del desempeño energético de las escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C., mucho menos un SGE<sub>n</sub>. No existen indicadores de desempeño energético que caractericen las escuelas, ni que permitan identificar áreas de oportunidad para la mejora de dicho desempeño.

En lo referente a las NOM-ENER de los sistemas de A.A., la NOM-ENER-011-2006 y la NOM-ENER-023-2018, para sistemas de A.A. de tipo paquete y para minisplit y ventana, los valores de Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE) de los sistemas de A.A. de las escuelas no cumplen con los indicados por estas NOM-ENER, lo cual puede llegar a afectar su desempeño energético y probablemente el confort térmico de los ocupantes del edificio.

La posible dificultad para garantizar el confort térmico en las escuelas, derivada de una diferente serie de factores, como bien puede llegar a afectar el desempeño académico de los estudiantes, Apriesnig et al. indican al haber encontrado una relación negativa entre el confort térmico y el ausentismo registrado de los estudiantes ([Apriesnig et al., 2020](#)). Pero esta limitación no sólo es perjudicial para los estudiantes, sino para todos los ocupantes del edificio también, siendo estos los docentes y personal administrativo de la escuela, afectando su desempeño, así como las condiciones laborales de éstos.

Por lo anterior expuesto, la presente investigación se enfoca en la realización de un diagnóstico energético de nivel dos en cuatro planteles de escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C., así como en el diseño de un SGE<sub>n</sub> para éstas, que cumpla con las características adecuadas para las necesidades de su región peculiar e identifique los procesos que pueden llegar a mejorar su desempeño energético, así como sus indicadores que mejor lo caractericen. A continuación, se establecen las preguntas de investigación:

P1: ¿Cuáles son las AMD<sub>En</sub> que ocasionan el mayor impacto en el desempeño energético en escuelas primarias?

P2: ¿Cuáles son los indicadores de sostenibilidad más útiles para demostrar el desempeño energético de escuelas primarias?

P3: ¿Cuál es el potencial de mejora en el consumo eléctrico anual al implementar un SGE en escuelas primarias?

## 1.2 Justificación

En México, no existe un SGE diseñado para escuelas primarias. La implementación de éste en una escuela puede llegar a ahorrar una cantidad considerable de energía y, por consiguiente, recurso económico. Algunos de los beneficios derivados de la implementación del SGE son la reducción del consumo eléctrico, emisión de gases de efecto invernadero, así como el garantizar más fácilmente el confort térmico de los ocupantes de las escuelas, el cual es difícil de satisfacer con las condiciones climáticas de la ciudad de Mexicali.

El estado de Baja California tiene un déficit de generación eléctrica en los meses de verano, en donde la demanda del SIBC se acerca a la capacidad instalada. La ciudad de Mexicali es la que tiene el mayor consumo eléctrico (debido a la capacidad instalada con la que cuenta, características climáticas, actividad industrial, falta de impulso a la eficiencia energética, etc.) ([Institute of the Americas, 2019](#)); por lo que la eficiencia energética es una estrategia en disminuir dicho déficit desde los usuarios finales de energía eléctrica.

El Gobierno del estado de Baja California destina una cantidad significativa al pago del servicio eléctrico, al éste simbolizar aproximadamente el 60% del gasto destinado al pago de servicios generales. En 2016 se destinó un total de \$221,703,000.00 de pesos al pago de éste, lo que representa el gasto principal dentro del concepto de pago de servicios ([Periódico Oficial del Estado de Baja California, 2017](#)).

Por lo que la presente investigación busca aportar conocimiento a los beneficios de diagnósticos energéticos en escuelas primarias al identificar las AMDEn y el impacto en su desempeño energético, así como determinar que indicadores son más convenientes para evaluarlo, cooperar con la agenda internacional de cambio climático al incorporar los ODS, así como caracterizar una escuela primaria de acuerdo a su desempeño

energético y sostenibilidad; lo anterior encontrándose alineado a la Agenda Energética del Gobierno de B.C. ([Gobierno de Baja California, 2022](#)).

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 General

Realizar un diagnóstico energético y diseñar un Sistema de Gestión de la Energía enfocados hacia escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C. que identifiquen acciones y procesos que mejoren significativamente su desempeño energético e indicadores relacionados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

### 1.3.2 Específicos

- Caracterizar cuatro escuelas primarias seleccionadas de acuerdo con su desempeño energético y sostenibilidad, al seleccionar las variables e indicadores más apropiados.
- Diseñar un SGEEn enfocado hacia escuelas primarias que se encuentre apegado a la Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2019.
- Identificar los ODS más apropiados para demostrar el desempeño energético de las escuelas evaluadas, así como sus metas e indicadores.
- Calcular los efectos en el consumo eléctrico al implementar AMDEn en escuelas primarias.
- Determinar las acciones con efecto significativo en el desempeño energético y sostenibilidad de escuelas primarias, a partir de un análisis de Pareto.

## 1.4 Hipótesis

H1: Las AMDEn identificadas en el diagnóstico energético tienen el potencial de ahorrar hasta el 35% del consumo eléctrico anual en kWh en escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C.

H2: Las escuelas primarias analizadas no cumplen los valores establecidos por las NOM-ENER de sistemas de A.A. empleadas en esta investigación.

H3: La sustitución de sistemas de A.A. por sistemas más eficientes es la AMDEn con mayor impacto en el ahorro eléctrico.

H4: Los ocupantes del edificio no se encuentran satisfechos con el confort térmico.

## 1.5 Alcances y limitaciones

El presente estudio tiene como parte de sus objetivos diseñar un SGEN dirigido para las necesidades y características de escuelas primarias ubicadas en la zona urbana de Mexicali, B.C., más no contempla ni garantiza la implementación de éste en el plantel.

El potencial de ahorro se calcula a partir de una simulación técnica y eléctrica. La información histórica a evaluar pertenece al periodo previo a la contingencia sanitaria COVID 19, siendo del año 2019.

El SGEN resultante de la investigación, así como los hallazgos encontrados y AMDEn generadas serán entregados a las autoridades competentes, así como a directores de las escuelas, para los usos que ellos consideren pertinentes designar. No se asegura la implementación del SGEN durante o después de la elaboración de la presente investigación, por lo que queda fuera del alcance del presente estudio si la escuela decide implementarlo totalmente, parcial o en absoluto.

## Capítulo 2.

### Antecedentes

En el presente capítulo se expone lo realizado en lo referente a proyectos de eficiencia energética, así como las asociaciones y organismos dedicados a la eficiencia energética en el país; además de la gestión energética y desarrollo sostenible en México y el mundo.

#### 2.1 Eficiencia energética

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, creada a través de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de noviembre del 2008. Tiene como objetivo central promover la eficiencia energética y fungir como órgano técnico para el aprovechamiento sustentable de la energía, la cual parte de la estructura institucional de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), creada el 28 de septiembre de 1989 ([Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, \[CONUEE\], s.f.](#)). Dentro de los esfuerzos realizados por la CONUEE se encuentran algunos relacionados directamente con la eficiencia energética en las escuelas.

El Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) es un organismo privado de participación mixta que es constituida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) el 14 de agosto de 1990, como ayuda en el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica. ([Fideicomiso para el ahorro de Energía Eléctrica, \[FIDE\], s.f.](#)).

Este último ha participado en programas de eficiencia energética enfocados a escuelas. En 1997 realizó la “Semana del Ahorro de Energía Eléctrica en Escuelas Primarias”, logrando la participación de 100 escuelas pertenecientes a la ciudad de Mérida, Yucatán y Guadalajara, Jalisco. Sus objetivos fueron el despertar el interés por el ahorro de energía eléctrica entre los niños que cursan el 5° y 6° grado de primaria, proporcionar consejos prácticos para que los niños puedan promover la aplicación de acciones que permitan ahorrar energía eléctrica en sus hogares y en su comunidad, evaluar el interés

y nivel de respuesta de niños, maestros, autoridades del sector educativo y padres de familia hacia este tipo de programas y la factibilidad de llevar a cabo programas a gran escala de cobertura regional, estatal o nacional. Se contempló la participación de alrededor de 32.000 niños ([FIDE, 1997](#)).

En 1990 se implementa el Programa de Apoyo a la Economía Familiar y de Ahorro de Energía Eléctrica, debido a la necesidad de zonas del país que presentan climas cálidos, y por consiguiente, un alto consumo eléctrico. De las 7 acciones de eficiencia energética, se encontraba el aislamiento de 25,000 viviendas, acción contemplada a través del Fideicomiso para el Aislamiento Térmico (FIPATERM). Este último es un fideicomiso que busca proveer acciones de eficiencia energética a través de financiamientos para la obtención de equipos de alta eficiencia energética. El Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI) contiene subprogramas que abarcan distintas áreas, desde el aislamiento térmico, hasta la sustitución de sistemas de A.A. ([Programa ASI, s.f.](#)).

La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) ha apoyado al gobierno mexicano en distintos aspectos relacionados a la eficiencia energética, así como al uso de las energías regenerativas. Entre sus apoyos, asesora al gobierno en disposiciones regulatorias y coopera con la CONUEE ([Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, \[GIZ\], 2017](#)).

El GIZ formó parte de la primera y segunda edición de la elaboración del “Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía”, como parte del “Programa de Energía Sustentable en México”, en conjunto con la CONUEE, implementado por el Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo ([CONUEE et al., 2016](#)).

El GIZ ha impulsado y financiado junto con la embajada de Reino Unido, programas como “Escuelas de bajas emisiones” el cual fue coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), teniendo una duración de junio de 2013 a diciembre de 2018 en 5 estados piloto del país, con una implementación en 26 escuelas. El programa buscaba potenciar proyectos y acciones en temas de educación ambiental y cambio climático en el sector educativo a través de acciones lideradas por los estudiantes. Se calculó un total de 3,000 t  $CO_2$  emitidas al año por dichas escuelas, y

con la implementación del programa se calculó que se tuvo una potencial de reducción de emisiones de 600 t  $CO_2$  al año ([GIZ, 2018](#)).

Como parte del Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal, en febrero de 2015 se publica el informe Benchmarking de Eficiencia Energética en centros médicos, escuelas de nivel medio superior de la Administración Pública Federal (APF) y hoteles, el cual incluía a 134 escuelas pertenecientes a 5 estados del centro del país para analizar las variables utilizadas por el programa Energy Star®, el cual busca calificar con un puntaje de 0-100 la eficiencia energética de edificios, considerando los que obtuvieran más de 75 puntos como eficientes. Los resultados arrojaron que la metodología que utiliza el programa Energy Star® no resultó adecuada para las escuelas mexicanas, debido a que las escuelas en las que dicho programa se basa son muy diferentes a las escuelas primarias, secundarias y escuelas de nivel medio superior en México, ya que ninguna de las variables utilizadas en los modelos fue significativa, dado que en México las escuelas de la APF regularmente carecen de los servicios que las escuelas analizadas por Energy Star® no ([GIZ, 2015](#)). Dentro de los proyectos mencionados, ninguno ha contemplado evaluar el potencial de la implementación de un SGE en escuelas de nivel básico.

Por su parte, dentro del Informe de desempeño anual 2018 de la CONUEE, se plasmaron los esfuerzos sobre SGE en 25 Tecnológicos Nacionales de México ([CONUEE, 2018](#)). En abril de 2021 se informa del desarrollo de una plataforma informática para el SGE, que tiene como objetivo organizar, agilizar, actualizar constantemente y tener disponible toda la documentación, así como la evidencia que se va generando, por parte de estudiantes del Tecnológico Nacional de México, Campus Tehuacán, el cual obtuvo la Certificación ISO 50001:2011 en enero de 2018 ([Tecnológico Nacional de México, 2021](#)).

Debido a la desaceleración mundial del progreso de la eficiencia energética, se estableció la Comisión Global para Acción Urgente en Eficiencia Energética en junio de 2019 en la Cuarta Conferencia Mundial en Eficiencia Energética de la IEA en Dublín, Irlanda, cuyo propósito es el de crear políticas de acción para que los gobiernos las implementen en su búsqueda de una mejor eficiencia energética ([IEA, 2020b](#)).

Sin las mejoras de eficiencia energética que se han hecho desde el año 2000, el mundo estaría utilizando un 13% más de energía en la actualidad, y las emisiones de carbono relacionadas con la energía serían un 14% más altas. Un tercio de los ahorros en la energía derivados de mejoras a la eficiencia energética provienen de edificios y electrodomésticos ([IEA, 2020b](#)). Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos, los edificios consumen alrededor del 40% de la energía total del país ([Energy Information Administration, \[EIA\], 2018](#)).

## 2.2 Gestión energética

El Dr. Steven Fawkes cuenta con más de 30 años de experiencia en el ámbito de la eficiencia energética; realizó un análisis de la evolución de la gestión energética en Reino Unido y separa sus fases en 3: *ahorra*, *gestiona* y *compra* ([Fawkes, 2001](#)). En la primera fase, del 1973 a 1981, la crisis del petróleo elevó los precios de la energía y dificultó su suministro, por lo que empezó a surgir la cultura del ahorro energético, o como se llamaba en ese entonces, *conservación de la energía*. El gobierno la difundió a través de anuncios televisivos y tácticas parecidas, además de subsidiar consultas energéticas. Sin embargo, los consultores energéticos contratados por las industrias usualmente no contaban con la capacitación adecuada, mientras que otras compañías asignaban el rol de Gestor Energético a personas que ya trabajan en la empresa y no contaban con experiencia.

En la siguiente fase, *gestiona*, la cual tomó lugar de 1981 a 1983, se empieza a reconocer como una disciplina separada y se le asigna el nombre de *gestión de la energía*. Los Gestores Energéticos ya fungían como trabajadores de tiempo completo en las industrias. Varios modelos de gestión energética comenzaron a desarrollarse e implementarse exitosamente, dentro de los cuales los *indicadores de desempeño* comenzaron a ser implementados.

Este período vio el pico del mercado de consultoría en gestión de energía con muchas organizaciones que incorporaron equipos de consultoría para establecer sistemas de monitoreo y focalización, llevar a cabo auditorías, implementar proyectos y entregar esquemas de comunicación y concientización.

En la fase de *compra*, 1983 a 2001, la gestión energética sufrió un decremento, debido a una baja en los precios de la energía y en la disminución de personal en las empresas. El mercado de consulta energética disminuyó. A pesar de ello, los países en el mundo reconocen la importancia de la gestión energética, por lo que comienzan a desarrollar políticas y lineamientos, como se observa en la Tabla 2.1, donde se encuentra una línea del tiempo con los países que publicaron dichas políticas. Fue en esta etapa que surge en México la CONAE, la cual nació el 28 de septiembre de 1989, que parte de un órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la APF, los gobiernos de los estados y municipios; así como de particulares, cuando lo soliciten, en materia de ahorro y uso eficiente de energía ([CONUEE, s.f.](#)). Sin embargo, como se puede observar en la Tabla 2.1, sería hasta el 2011 cuando se publica en México el equivalente a la Norma Internacional ISO 50001, la Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011.

*Tabla 2.1. Políticas y lineamientos relacionados a la gestión energética*

Año	País
1990	Australia: AS 3595
1992	Australia: AS 3596
1995	EE.UU.: ANSI 739. Canadá: Plus 1140. China: GB/T 15587
2000	EE.UU.: ANSI/MSE 2000: 2000
2001	Dinamarca: DS 2403:2001
2003	Suecia: SS 627750: 2003
2005	Irlanda: I.S. 393: 2005. Holanda: Sistema de Gestión Energética
2007	España: UNE 216301: 2007. Corea del Sur: KSA 4000: 2007. Alemania: gestión energética
2009	Sudáfrica: SANS 879: 2009. China:GB/T 23331: 2009. Europa: EN 16001: 2009
2011	Estándar Internacional ISO 50001: 2011. <b>México:</b> NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011
2018	Estándar Internacional ISO 50001: 2018
2020	<b>México:</b> Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2019

Fuente: [CONUEE y GIZ, 2016.](#)

Fue en la etapa de compra, de 1983 al 2001, que el medio ambiente surge como una variable de importancia y varias compañías incorporaron la gestión energética a iniciativas ambientales; el mundo comienza a darle importancia al problema medio ambiental que comenzaba a agravarse.

### 2.3 Desarrollo sostenible

En 1983 se creó la Comisión Mundial Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, asignada por la Asamblea General de las Naciones Unidas, en respuesta a la problemática medioambiental en el mundo. Encabezados por la entonces ministra de Noruega, Gro Harlem Brundtland, publicó en 1987 el histórico informe “Nuestro Futuro Común”, también conocido como “Informe Brundtland”, donde se le dio por primera vez visibilidad a la problemática económica, social y ambiental que venía deteriorándose desde hace años. ([Slow Fashion Next, 2020](#)). Es en este informe donde se introduce el concepto de *desarrollo sostenible*.

Después de la publicación del informe, organizaciones en el mundo comenzaron a elaborar indicadores para medir la evolución del desarrollo sostenible, y en 1992, en La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Cumbre de la Tierra), al adoptar el Programa 21, en el capítulo 40 se solicitó a las organizaciones elaborar el concepto de indicadores de desarrollo sostenible (IDS) ([Organización Internacional de Energía atómica \[OIEA\], 2008, p. 2](#)). Es en ese mismo año, 1992, la Asamblea General de las Naciones Unidas crea la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (CDS) para atender el progreso de lo acordado en la Conferencia ([UN, s.f.](#)).

En respuesta al capítulo 40 del Programa 21, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UN DESA) trabajó en la definición de IDS. Al principio llegando a abarcar los ámbitos social, económico, ambiental e institucional. En 1999 Arshad Khan y Garegin Aslanian, de la Selección de Planificación y estudios económicos de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), elaboraron indicadores energéticos por primera vez dentro del contexto de desarrollo sostenible en 1999. Fueron presentados en 2001 en la CDS y posteriormente fueron inscritos en proyectos de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible del año 2002 ([OIEA, 2008a](#)).

## Capítulo 3.

### Marco Teórico

Para comprender la investigación en cuestión, se deben tener claros los conceptos de eficiencia energética, SGEN, diagnóstico energético, NOM-ENER, así como de los IDS y los ODS. Se mencionarán aspectos teóricos relacionados a la presente investigación, como lo son los diagnósticos energéticos, el diseño e implementación de un SGEN y la evolución e hitos de la sostenibilidad; se brindarán definiciones, autores principales relacionados al tema, principales críticas y modelos que explican la metodología del problema a estudiar.

#### 3.1 Eficiencia energética

La eficiencia energética brinda una variedad de beneficios a los usuarios que la implementen en cualquier nivel, ya bien sea al sector residencial hasta gubernamental, al mejorar la competitividad y asequibilidad de la energía, disminuir los recibos energéticos y la dependencia en las importaciones energéticas, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y liberar fondos para gastar en otros sectores de la economía ([IEA, 2020b](#)).

La Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2019 define la eficiencia energética como:

“Proporción u otra relación cuantitativa entre un resultado de desempeño, servicio, productos, materias primas o de energía y una entrada de energía” ([Comité de Normalización de la Asociación de Normalización y Certificación, A.C. \[CONANCE\] y Comité Técnico de Normalización Nacional de Sistemas de Administración Ambiental del Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. \[COTENNSAAM\], 2019, p. 18](#)).

Por su parte, la Ley para el aprovechamiento sustentable de la energía la define como:

“Se le denomina eficiencia energética a todas las acciones que conlleven a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía. Queda incluida dentro de esta definición, la sustitución de fuentes no renovables de energía por fuentes renovables de energía”, ([Ley para el aprovechamiento sustentable de energía, 2008](#)).

Mientras que Zheng et al. contrastan la definición de eficiencia energética visto desde diferentes perspectivas; desde la perspectiva de ingeniería, se define como “la diferencia entre el consumo energético de simulación de ingeniería y el consumo energético real correspondiente”; desde un punto de vista económico, “la eficiencia energética es usar menos energía para llevar a cabo la misma tarea o producir el mismo servicio energético” ([Zheng et al., 2024](#)).

### 3.2 Normas Oficiales Mexicanas

El documento Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética Balance al 2018 define las NOM-ENER como lo siguiente:

“Las NOM-ENER son especificaciones técnicas, de aplicación obligatoria, que integran tecnología de punta para asegurar un uso más eficiente de la energía en los aparatos, equipos y sistemas que se fabriquen y comercialicen en el país. Los avances tecnológicos que se han logrado en el diseño y fabricación de equipos y sistemas que utilizan energía, han incidido positivamente para disminuir el consumo de esta. Con la aplicación de las NOM-ENER, se contribuye a la preservación de los recursos energéticos no renovables y a disminuir la emisión de contaminantes al medio ambiente”, ([Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética Balance al 2018, 2018](#)).

### 3.3 Eficiencia de los sistemas de Aire Acondicionado

La Relación de Eficiencia Energética Estacional se define como:

“Es la relación del enfriamiento total de un equipo de aire acondicionado tipo central en watts térmicos (Wt), transferidos del interior al exterior, durante un año de uso, dividido

entre la potencia eléctrica total suministrada al equipo en watts eléctricos ( $W_e$ ) durante el mismo lapso”, ([NOM-011-ENER-2006, 2006](#)).

Hendron presenta la fórmula para calcular la eficiencia actual de los sistemas de A.A. cuando no se conoce. Se observa en la ecuación 1. Los grados de desempeño de degradación para sistemas de A.A. se basan en parte en un estudio realizado por la Lawrence Berkeley National Laboratory para la California Energy Commission ([Hendron, 2006](#)).

$$\text{Eficiencia actual} = (EO) * (1 - M)^{\text{años}}$$

*EO: Eficiencia original del equipo cuando era nuevo*

*M = factor de mantenimiento*

*Años: Años de uso del equipo*

*Ecuación 1. Cálculo de degradación de sistemas de A.A.*

### 3.4 Sistema de Gestión de la Energía

La Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2019 define un SGE<sub>n</sub> como:

“Sistema de gestión para establecer una política energética, objetivos, metas energéticas, planes de acción y procesos para alcanzar los objetivos y las metas energéticas” ([CONANCE y COTENNSAAM, 2019, p. 13](#)).

Mientras que la CONUEE et al. la definen como:

“Un SGE<sub>n</sub> es una metodología para lograr la mejora sostenida y continua del desempeño energético en las organizaciones en una forma costo-efectiva”, ([CONUEE et al., 2016, p.15](#)). Además, menciona que los principales impulsores son la seguridad energética, el desarrollo económico y la competitividad, el cambio climático y la salud pública.

Enlista también que un SGE<sub>n</sub> aporta los siguientes beneficios a las organizaciones:

- Ayuda a identificar, priorizar y seleccionar las acciones para la mejora del desempeño energético con base en su potencial de ahorro y el nivel de inversión requerido.

- Reduce costos al aprovechar al máximo los recursos energéticos.
- Impulsa la productividad y el crecimiento (mayor aprovechamiento, menor desperdicio).
- Promueve las mejores prácticas de gestión energética.
- Asegura la confianza y calidad de la información que se utiliza para la toma de decisiones.
- Facilita la integración de sistemas de gestión ya existentes.
- Desarrolla capacidades en la organización.
- Genera una cultura organizacional orientada a la gestión de la energía.

Mientras que Stephen Fawkes menciona sobre los SGE: “Diseñar un sistema de gestión para una empresa industrial que alienta al personal y a otros agentes de cambio a crear, identificar y explotar oportunidades de inversión en conservación de energía que sean rentables para la empresa, sujetas a limitaciones” ([Fawkes, 1987](#)).

### 3.5 Diagnóstico energético

El FIDE define un diagnóstico energético como:

“Consiste en un conjunto de técnicas que determinan la eficiencia con la que es utilizada la energía” ([FIDE, 1993](#)).

A su vez, la CONUEE et al. lo describen como:

“Un diagnóstico energético contempla los tipos de usos de la energía en una organización, así como sus niveles de consumo. Para diferentes países este concepto, así como las actividades que incluye, varía en su dimensión y alcance” ([CONUEE et al., 2016, p. 109](#)).

La Tabla 3.1 contiene los tipos de diagnósticos energéticos, con sus respectivos niveles y características.

Tabla 3.1. Características de diagnósticos energéticos.

Tipo de Diagnóstico de Ahorro de Energía	Tiempo Promedio	Alcance Esperado	Medición de Variables Diversas	Tipo de Profesionales	Costo del diagnóstico
1er nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede o no tener visita a la empresa; si se realiza visita se requiere de 1 a 2 días.</li> <li>- 2 a 3 días para elaboración de reporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de datos de facturación de energía eléctrica y/o combustible.</li> <li>- Identificación de Uso Significativo de la Energía (USEn).</li> <li>- Identificación de áreas de oportunidad de ahorro de energía, e implementación de energías renovables.</li> <li>- Indicación de porcentajes de ahorro típicos de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se realizan mediciones.</li> <li>- Se toman datos de los equipos de medición con los que cuenta la empresa</li> </ul>	Equipo de profesionales: Senior, Med Level's y/o Junior's	Mínimo
2do nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 a 2 semanas en la empresa</li> <li>- 2 a 4 semanas para elaboración de reporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de datos de facturación de energía eléctrica y/o combustible.</li> <li>- Análisis de USEn.</li> <li>- Ingeniería básica: Evaluación de medidas de ahorro de energía, e implementación de energías renovables; evaluación de ahorro. energéticos, económicos, ambientales, rentabilidad.</li> <li>- Indicación de posibles fuentes de financiamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se realizan mediciones con equipos puntuales y/o con registradores de datos.</li> <li>- Se toman datos de los equipos de medición con los que cuenta la empresa.</li> </ul>	Equipo de profesionales: Senior y Junior y/o Med Level	Bajo

3er Nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 a 4 semanas en la empresa</li> <li>- 4 a 6 semanas para elaboración de reporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de datos de facturación de energía eléctrica y/o combustible.</li> <li>- Análisis de USEn.</li> <li>- Ingeniería básica y de detalle: Evaluación de medidas de ahorro de energía, e implementación de energías renovables; evaluación de ahorros energéticos, económicos, ambientales, rentabilidad.</li> <li>- Posible búsqueda de financiamientos para la implementación de proyectos.</li> <li>- Venta e instalación de proyectos.</li> <li>- Garantía sobre ahorros de energía y económicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se realizan mediciones con equipos puntuales y/o con registradores de datos.</li> <li>- Se toman datos de los equipos de medición con los que cuenta la empresa</li> </ul>	Equipo de profesionales: Senior, Med Level's y Junior's	Medio
Nivel 0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 a 4 horas en la empresa</li> <li>- 1 a 2 días para elaboración de reporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de datos de facturación de energía eléctrica y/o combustible; si está disponible.</li> <li>- Identificación de USEn.</li> <li>- Identificación de áreas de oportunidad de ahorro de energía, e implementación de energías renovables.</li> <li>- Indicación de porcentajes y potencial de ahorro típicos de energía.</li> </ul>	Medio	1 a 2 Master: Más de 10 años de experiencia. Conocimiento de energía eléctrica, térmica, ER, Cambio Climático, marco regulatorio. Amplio conocimiento de MAEs. Amplio conocimiento de diferentes sectores económicos.	Medio

Fuente: [GIZ, 2022.](#)

### 3.6 Desarrollo Sostenible e indicadores

El informe Nuestro Futuro Común de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, define desarrollo sostenible como:

“Aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones”, ([Comisión Mundial Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987, p. 23](#)).

Por otro lado, Berke y Manta lo definen como:

“El desarrollo sostenible es un proceso dinámico en el que las comunidades anticipan y se adaptan a las necesidades de las generaciones actuales y futuras en formas que reproducen y equilibran las relaciones sociales, económicas y ecológicas locales, y vinculan las acciones locales con las preocupaciones globales”, ([Berke & Manta, 1999](#)).

La Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas define los indicadores como:

“Un indicador estadístico es un elemento de datos que representa datos estadísticos para un tiempo, lugar y otras características específicas”, ([Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas \[UNECE\], 2000](#)).

En respuesta al capítulo 40 del Programa 21, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UN DESA) trabajó en la definición de IDS. Al principio llegando a abarcar los ámbitos social, económico, ambiental e institucional. En 1999 Arshad Khan y Garegin Aslanian, de la Selección de Planificación y estudios económicos de la OIEA, elaboraron indicadores energéticos por primera vez dentro del contexto de desarrollo sostenible en 1999. Fueron presentados en 2001 en la CDS y posteriormente fueron inscritos en proyectos de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible del año 2002 ([OIEA, 2008b, p. 1](#)).

El documento *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías* define los indicadores como:

“Los indicadores no son meros datos, sino que trascienden lo que es la estadística básica para promover un entendimiento más a fondo de los principales problemas y arrojar luz sobre relaciones valiosas que no son evidentes si sólo se emplean estadísticas básicas [...]. Constituyen herramientas esenciales para dar a conocer a los encargados de las políticas, y al público en general, las cuestiones energéticas relacionadas con el desarrollo sostenible y fomentar el diálogo institucional. La evolución temporal de los valores de los indicadores refleja los progresos realizados, o la falta de ellos, hacia la consecución de un desarrollo sostenible.”, ([OIEA, 2008c, p. 2](#)).

El cambio climático es sólo uno de los 17 problemas en el mundo que se quieren mitigar con los ODS, los cuales buscan un futuro mejor y más sostenible para todos. Dentro de los 17 ODS se encuentran distribuidas 169 metas, las cuales a su vez contienen diferentes indicadores para medir el desempeño de cada objetivo. Con ellos se pretende retomar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y conseguir lo que estos no lograron ([UN, 2015](#)). En la Figura 3.1 se encuentran los 17 ODS:



Figura 3.1. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Fuente: [UN, 2015](#).

En la Cumbre de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas de 2015, se adoptó la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, la cual contiene los objetivos mencionados. Esta Agenda es un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que toma en cuenta las tres dimensiones del desarrollo sostenible: el social, económico y ambiental ([UN, 2015](#)).

### 3.7 Trabajos recientes

Las Naciones Unidas reconocieron la importancia de la incorporación de la sostenibilidad en el sector educativo para lograr la realización de ésta, como bien lo mencionan Ferrer y Chalmeta en la línea de tiempo de los hitos de la educación para el desarrollo sostenible ([Ferrer y Chalmeta, 2021](#)). Desde la creación de los ODS en 2015, estos mismos autores encontraron que existen 160 artículos relacionados con la integración de los ODS en instituciones educativas.

Okubo et al. encontraron que en una escuela de nivel medio superior en Japón, donde se implementa un programa de ODS, causó un impacto positivo tanto en los estudiantes como en los docentes al trabajar con problemáticas relacionadas a los ODS, preparándolos a enfrentar desafíos presentados por la sociedad ([Okubo et al., 2021](#)).

Las instituciones educativas representan una responsabilidad social al ser las responsables de formar a los futuros ciudadanos, es por eso que las condiciones de éstas deben ser óptimas para garantizar un mejor desempeño de los alumnos pertenecientes a dichas instituciones. Apriesnig et al. encontraron una relación positiva entre el desempeño de los estudiantes y componentes del confort térmico, por lo cual resulta indispensable garantizar el confort térmico dentro de los espacios educativos ([Apriesnig et al., 2020](#)).

Se han realizado investigaciones de la incorporación de un SGE en instituciones educativas; tal es el caso de Al Faris et al., donde, analizaron el comportamiento energético de una escuela en Dubai, Emiratos Árabes Unidos, para posteriormente brindar propuestas de mejora de ahorro de energía e implementación de un SGE, logrando ahorros de hasta el 35% ([Al Faris et al., 2016](#)). Vargas et al. realizaron algo similar en una escuela en Colombia ([Vargas y Valverde, 2017](#)). Ambos calcularon el potencial de ahorro y crearon indicadores para medir el desempeño.

Dias Pereira et al. realizaron una comparación entre índices energéticos de escuelas en distintos países del mundo y llegaron a la conclusión de que no se puede hacer una comparación real entre los consumos de dichas escuelas pertenecientes a sus diferentes

países debido a que cada edificio educacional tiene diferentes características, horarios, y usos ([Dias Pereira et al., 2014](#)).

Chung y Yeung realizaron una investigación donde compararon los consumos energéticos de distintas escuelas alrededor del mundo, y llegaron a un número de indicadores para estandarizar la evaluación de la eficiencia energética en diferentes regiones ([Chung y Yeung, 2021](#)).

Si bien es importante un alcance cuantitativo para conocer la eficiencia energética de una escuela, también lo es un cualitativo. Con el afán de estandarizar una encuesta cualitativa sobre eficiencia energética para el diseño de escuelas, Salleh et al. entrevistaron a ocupantes de una escuela, encontrando que los subtemas más importantes eran la percepción de ventilación, diseño, ruido y conciencia de eficiencia energética ([Salleh et al., 2016](#)).

Martinez et al. condujeron una encuesta similar, a niños de 7 y 8 años y docentes en un edificio antiguo que fungía como escuela en España, encontrando que los niños son más difíciles de satisfacer en cuanto a confort térmico, no sólo debido a las condiciones de diseño y estructurales del edificio, sino al desafío que presenta el evaluar algo subjetivo a niños pequeños ([Martinez et al., 2017](#)).

Zhang et al. propusieron el rediseño de una escuela ya existente en China que contaba con un clima húmedo y cálido, que buscaba reducir el consumo energético y elevar el confort térmico, por medio del rediseño integrado del edificio escolar y su patio ([Zhang et al., 2017](#)). Los autores encontraron que la propuesta que arrojó los mejores resultados fue la de modificar el paisajismo de la escuela al plantar árboles y reemplazar el cemento por pasto. Con las propuestas combinadas, lograron reducir las horas de incomodidad al aire libre un 25% y la demanda de enfriamiento del edificio un 5%.

Si bien el SGEEn puede auxiliar en la creación e implementación de propuestas de eficiencia energética en las escuelas, también se debe tomar en cuenta el importante papel que juega el capital humano en la implementación de éste. Samuels y Booyen implementaron un programa de eficiencia energética en tres escuelas primarias y dos secundarias en Sudáfrica. El programa consistió en analizar los consumos energéticos

de las cinco escuelas, un año anterior a la implementación del programa y los del periodo de la implementación y brindar una plática de concientización a los docentes y personal de la escuela sobre los efectos y causas del cambio climático y las implicaciones financieras y energéticas de los aparatos normalmente utilizados en las escuelas. Sólo se le dio seguimiento mes con mes a dos de las escuelas monitoreadas. Los resultados arrojaron que las escuelas que se les proporcionó un seguimiento a los responsables de la operación de las instalaciones presentaron un ahorro en promedio del 13% ([Samuels y Booyesen, 2017](#)).

Pietrapertosa et al. encontraron que al implementar un programa educacional de concientización a niños que se encontraban entre las edades de 3 y 14 años, e integrándolos al programa por medio de actividades, competencias y talleres se puede disminuir el consumo eléctrico de una escuela ([Pietrapertosa et al., 2020](#)). Después del periodo de evaluación del consumo, se logró un ahorro de 1,122 Euros en la escuela italiana donde fue implementado el programa.

### 3.7.1 Objetivos de Desarrollo del Milenio

En la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas, celebrada en el año 2000 en Nueva York, se presentó la Declaración del Milenio, que contenía ocho los ODM. Éstos pretendían atender y mejorar la situación de las necesidades humanas y derechos que la humanidad necesitaba para el año 2015 ([Naciones Unidas México, s.f.](#)).



Figura 3.2. Objetivos de Desarrollo del Milenio

Los ODM fueron criticados desde un principio por su redacción, método de implementación y contenido. Jacob menciona las principales críticas que recibieron por parte de los siguientes autores: Manning menciona que omite los derechos humanos, Vandemoortele que adopta un enfoque único para todos, Clemens y Easterly que son ambiciosos para muchos países, Chang argumenta que tiene un enfoque inadecuado en el crecimiento de la capacidad productiva y Lomazzi et al. mencionan que existe un desvío de temas importantes como la desigualdad global y el hecho de que no se reconozca la interconexión entre los objetivos ([Jacob, 2017](#)).

En los 15 años que se implementaron, las Naciones Unidas mencionan que los ODM ayudaron a que más de mil millones de personas escaparan de la pobreza extrema, combatir el hambre, facilitar la asistencia de niñas a la escuela y proteger nuestro planeta. Sin embargo, aún persistía y se agudizó la desigualdad social ([Naciones Unidas México, s.f.](#)).

A pesar de que efectivamente, en el lapso de 1990-2015, más de mil millones de personas salieron de la pobreza al incrementar su ingreso diario de 1.25 dólares, Pogge y Sengupta argumentan que se debió al crecimiento ordinario de 2.5% anual del ingreso global per cápita, y no a los ODM, como las Naciones Unidas reportan ([Pogge y Sengupta, s.f.](#)).

Con la publicación en 2015 de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, se dan a conocer los ODS, que, citando a la Naciones Unidas, “buscan completar y continuar con el trabajo que los Objetivos de Desarrollo del Milenio no lograron” ([UN, 2015, p.1](#)). Se hace un énfasis en que los ODM no se abandonan, sino que los ODS complementan y profundizan el trabajo, como se puede apreciar en la Figura 3.2, que detalla cómo y en que ámbito se trasladan los ODM a los ODS ([Naciones Unidas México, s.f.](#)).



Figura 3.3. Objetivos de Desarrollo del Milenio trasladados a Objetivos de Desarrollo Sostenible

Fuente: [Naciones Unidas México, 2015.](#)

### 3.8 Crítica a los Objetivos de Desarrollo Sostenible y Objetivos de Desarrollo del Milenio

El profesor del departamento de filosofía de la Universidad de Yale, Thomas Pogge y Mitu Sengupta, publicaron un artículo criticando fuertemente la transición de los ODM a los ODS, con el título: *Una crítica del potencial de los Objetivos de desarrollo Sostenible para lograr la realización de los derechos humanos de todos: Porque ser mejor que los ODM no es lo suficientemente bueno.*

Las tres críticas principales que realizan son:

- Los ODS promueven un falso sentido del éxito y facilitan que los gobiernos vayan lento en la realización de los derechos humanos.
- Los ODS fallan en especificar que necesita una meta genuina para erradicar la pobreza: una división clara de trabajo.

- La realización completa de derechos humanos requiere una reducción masiva de desigualdades internacionales e intranacionales, lo cual los ODS fallan en demandar.

Los ODS no son ningún contrato regulado que se hayan comprometido legalmente a cumplir; más bien, es un acuerdo voluntario. No habría consecuencias si los países fallan en cumplir los objetivos, lo cual los autores creen es lo más probable que pasará: los países fallarán de nuevo en cumplir dichos objetivos ([Pogge & Sengupta, s.f.](#)).

Por su parte, Easterly, también fuerte crítico de los ODS, dice que el tener el enfoque de “¿Qué debemos hacer?”, no es tan útil como parece. Este enfoque sufre de 3 falacias, ya que da a entender que las respuestas a una pregunta sí llevan a acciones, que somos los adecuados para tomar esas acciones y que las recomendaciones de acciones son la única manera de inducir progreso. Todo lo anterior es incorrecto, ya que al autor establece que todo el contenido de los ODS es una repetición de “¿Qué debemos hacer?” ([Easterly, 2015](#)).

A su vez, Swain comenta como no existe una relación entre el desarrollo económico y social, y las metas de cambio climático, y llega a la conclusión, de que los países subdesarrollados se enfoquen en políticas económicas y sociales, y que los países desarrollados se enfoquen en políticas sociales y medio ambientales ([Swain, 2017](#)).

### 3.9 Modelos de gestión energética

Dentro de los modelos de gestión energética existen varios, se encuentran algunos de ellos en la Tabla 3.2 con sus principales características.

*Tabla 3.2. Modelos de gestión energética y sus características.*

Modelo	Etapas y características principales
Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía	Inicio: identificar el escenario inicial. Planear: establecer el compromiso, evaluar el desempeño energético, establecer objetivos y metas. Hacer: crear planes de acción, poner en práctica los planes de acción. Verificar: evaluar el progreso (auditoría interna, no conformidades, acción correctiva y

	preventiva), seguimiento, medición y verificación. Actuar: revisión por la dirección.
Producción más limpia y eficiencia energética	Planeación y organización: compromiso de gerencia e involucrar a los empleados, preasesoramiento: compilar información básica, asesoramiento; detallar un balance de materia y energía, análisis de factibilidad: evaluar económico y ambiental y seleccionar las opciones factibles e implementación y continuación: preparar un plan de producción más limpio.
Gestión total eficiente de la energía	Diagnóstico energético: conocer comportamiento energético de la empresa, identificar potenciales de ahorro de la empresa, diseño de un plan: se deben tener en cuenta identificación de soluciones, establecimiento de escenarios, etc., organización y composición de equipos de mejora: definir estructuras necesarias, misión y funciones de equipo, sistemas de retroalimentación, aplicación de acciones de medida: normación, regulación, y aplicación de las medidas técnico organizativas, seguimiento de control: monitoreo y registro de índices y factores, y prueba de necesidad compromiso de alta dirección.
Pautas Para La Gerencia De La Energía (Energy Star)	Creación de un comité de energía: instituir política energética para fijar metas, determinación del funcionamiento: evaluar el uso de la energía en las instalaciones, fijar metas: determinar el alcance de éstas y estimar su potencial, crear un plan de acción: definir los pasos y objetivos y determinar las funciones y recursos necesarios, implementar el acción de acción: sistema de monitoreo, capacitación continua, motivación del personal, evaluación del progreso: calcular la eficacia del plan de acción y reconocimiento de logros: obtener motivación del personal involucrado.

Gerencia de la Energía (SGV)	La matriz de la gerencia de energía es una herramienta que logra introducir los términos energéticos a una compañía. Los pasos que componen este modelo son: compromiso: organizar los recursos de la gerencia, entendimiento: designar un gerente y plan de implementación, planeación y organización: conducir auditorías energéticas, implementación: implementar proyectos del plan de acción y control y monitoreo: generar reportes regulares y una reseña anual.
Programa canadiense para la conservación de energía en la industria (CIPEC)	Planear: conseguir el compromiso de la dirección y asignar planes de acción, hacer: crear conciencia, implementar proyectos, checar: revisar resultados, verificar efectividad y actuar: corregir deficiencias, revisar objetivos y programa energético, actualizar planes de acción y volver a empezar el ciclo.
Diagrama organizacional para la dirección energética (Wayne C. Turner)	Debe ser adaptado para cada organización. La estructura organizacional da mucha importancia al director de energía, ya que debe tener una amplia visión del manejo de la energía en la empresa. En el equipo de la energía debe haber un representante por cada área. Se le debe dar importancia a los empleados. La política energética debe ser bien estructurada por la dirección e involucrar al director en la planeación de metas.
Niveles del proceso de optimización, W. Smith	Nivel I, Auditoria de la Metodología en el Proceso de Optimización: identificar cambios de procesos, analizar oportunidades. Nivel II, Prueba y análisis: seguir las ideas principales del nivel I, medir, duración de 1 a 6 meses. Nivel III, ingeniería detallada: implementación de los proyectos, diseño detallado, duración de 3 a 8 meses.

Fuente: [Vidal et al., \(2007\).](#)

## Capítulo 4

### Metodología

En el presente capítulo se encuentra la metodología propuesta, donde se tiene como objetivo el describir cómo se realizó la investigación en cuestión, específicamente, el diagnóstico energético, además de mencionar cómo se cumplen los objetivos de la investigación. A pesar de que el diagnóstico energético va de la mano con la implementación y diseño del SGE<sub>n</sub> resultante de la investigación, el propósito de este capítulo es el explicar la metodología para que el lector le sea posible replicar dicho diagnóstico en cualquier escuela de la zona urbana de la ciudad. El SGE<sub>n</sub> resultante de esta investigación será entregado a las autoridades competentes, para obtenerlo, fue necesaria la realización de los métodos expuestos a continuación en los cuatro casos de estudio seleccionados donde se realizó el diagnóstico energético. En este apartado se establecen los sujetos bajo estudio, se describen las técnicas e instrumentos utilizados y se presenta la secuencia de las actividades desarrolladas, además de asegurar su validez y confiabilidad.

Para el presente trabajo se utiliza el modelo de investigación basado en sistemas complejos, el cual consiste en definir al sistema a través de sus partes e interrelaciones, determinar sus estados de evolución y describir mediante la simulación como se modifican esos estados en el tiempo ([Rivas, L., 2017](#)).

#### 4.1 Sujeto bajo estudio

La presente investigación busca evaluar el efecto potencial en el desempeño energético y la sostenibilidad al realizar un diagnóstico energético, así como diseñar un SGE<sub>n</sub> en escuelas primarias ubicadas en la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C. Para lograrlo, el sujeto bajo estudio son escuelas primarias seleccionadas que se encuentran ubicadas en dicha zona. Entre los aspectos a evaluar destacan la infraestructura física, equipamiento, comportamiento energético (historiales de consumo y USE<sub>n</sub>), hábitos de uso energético por los ocupantes, opiniones de estos últimos, así como procedimientos administrativos y académicos. La línea de base energética (LBE<sub>n</sub>) y de sostenibilidad

corresponde a los valores presentes en el sujeto bajo estudio durante el año 2019 (pre pandemia COVID-19).

Debido a que no es posible trabajar con una muestra probabilística, se opta por trabajar con un diseño de experimentos, seleccionando de una lista de escuelas de características típicas de la zona urbana de la ciudad proveída por el Instituto de Servicios Educativos y Pedagógicos (ISEP). Dichos valores son el número de alumnos, número de docentes, número de grupos y turno de la escuela. De acuerdo con las características proporcionadas por las escuelas, se decide entonces trabajar con un diseño de experimentos factorial completo de  $2^2$ , siendo un total de 4 planteles.

Es importante destacar que los planteles seleccionados son 4 y el número de escuelas en total son 6, debido a que existen planteles de doble turno (matutino y vespertino) y cada turno se considera una escuela con su propia clave. Además, la CFE factura por plantel, por lo que el sujeto bajo estudio se considera como 4 planteles, nombrándolos con el nombre de la escuela de turno matutino, y refiriéndose a ellos como escuela, no plantel.

Un dato relevante que se consideró es que las escuelas que forman parte del diseño de experimentos poseen características similares, tales como el área de salones de grupo similar, misma duración de tiempo de cada turno, orientación de ventanas y construcción, características constructivas, etc. Las características que no son similares se estandarizan, como más adelante se describe más detalladamente. Se selecciona como factores el número de salones de grupo por turno y el turno de la escuela. En la Tabla 4.1 se encuentran los factores del experimento con sus respectivos niveles, así como la variable de respuesta.

*Tabla 4.1. Factores del diseño de experimentos de las escuelas a evaluar.*

Factor	Nivel alto	Nivel bajo	Variable de respuesta= consumo eléctrico en kWh
A= No. de salones de grupos por turno	12	6	
B=Turno	Mixto	Matutino	

El factor A es el número de salones de grupos por turno; su nivel alto es 12, mientras que el bajo es 6. Se proponen dichos valores para trabajar con el menor número posible de salones, los cuales son 6 y 12; esto debido a cuestiones de tiempo. El factor B es el turno; su nivel alto es el turno mixto (matutino y vespertino) y el nivel bajo turno matutino. La variable de respuesta es el consumo eléctrico anual en kWh, variable que será medida por una serie de parámetros descrita más adelante, mismos que fungirán para caracterizar la escuela.

Debido a que no es posible encuestar a todos los niños de las escuelas sujeto bajo estudio, se selecciona una muestra probabilística para la aplicación de las encuestas. Se delimita a la población como todos los niños de las escuelas primarias seleccionadas. Las escuelas cuentan con un distinto número de alumnos, por lo que se decide trabajar con una muestra probabilística estratificada para contar con un número proporcional de alumnos encuestados de cada escuela, y así poder comparar los resultados obtenidos. Con escuelas de turno mixto, se seleccionan alumnos de manera proporcional de cada uno de sus dos turnos, es decir, de las dos escuelas del mismo plantel. Se utiliza un nivel de confianza del 95%, error del 5% y porcentaje estimado de la muestra del 50%. La muestra es seleccionada de la siguiente manera:

$$n = \frac{N * Z^2 * p/q^2}{(e^2 * (N - 1)) + (Z^2 * \frac{p^2}{q})}$$

Donde:

$N = Población$

$n = Muestra$

$Z = 1.96$

$e = .05$

$\frac{p}{q} = .5$

Se procede a calcular los estratos, con la fórmula:

$$ksh = \frac{nh}{Nh} = \text{fracción constante}$$

Donde:

$nh = \text{muestra}$

$Nh = \text{población}$

La fracción constante resultante se multiplica por cada subpoblación, que equivale a cada número de alumnos de cada escuela, incluyendo el turno vespertino en las escuelas de turno mixto. Se obtienen así los estratos. En la Tabla 4.2 se encuentran las escuelas y los estratos resultantes.

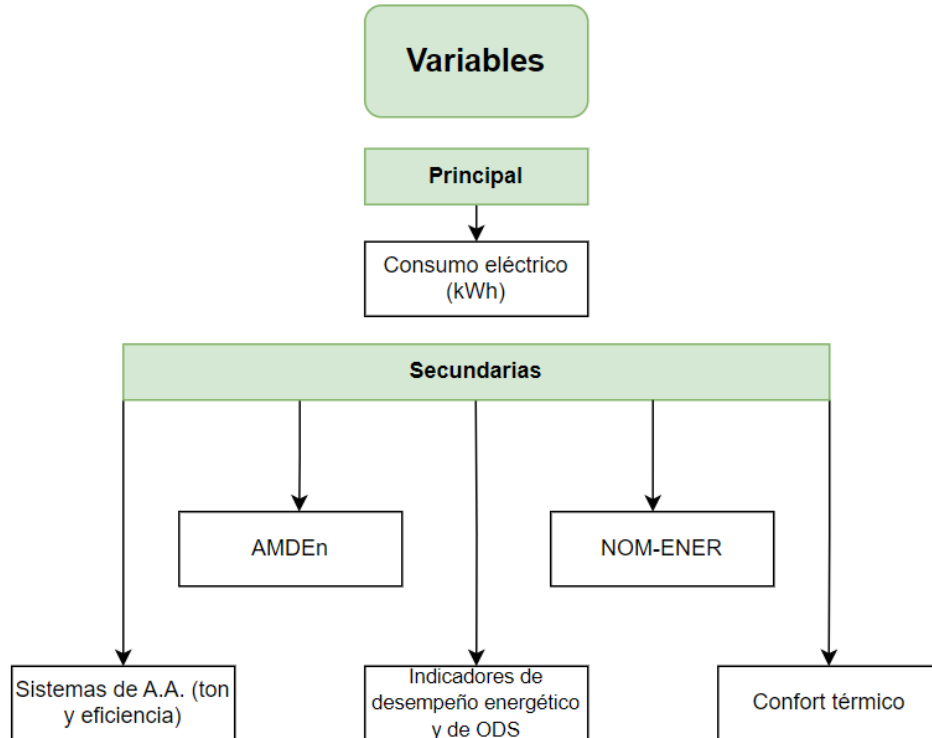
*Tabla 4.2. Muestra probabilística estratificada de escuelas primarias.*

Estrato por giro	Escuelas del giro	Total sub población	Estrato
1	Escuela 1		
2	Escuela 2 Matutino		
3	Escuela 2 Vespertino		
4	Escuela 3		
5	Escuela 4 Matutino		
6	Escuela 4 Vespertino		

Debido al número reducido de docentes, se les aplica una encuesta a los que cuenten con disponibilidad para realizarla. No se selecciona una muestra para ellos.

#### 4.1.1 Variables a estudiar

La variable principal a estudiar es el consumo eléctrico del plantel en kWh y las variables secundarias que forman parte de ésta son los sistemas de A.A., AMDEn, indicadores de desempeño energético y de ODS, NOM-ENER y el confort térmico.



*Figura 4.1. Variables a estudiar.*

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Técnicas y materiales a utilizar

Para la obtención de la información necesaria para definir el estado actual de las escuelas, se elabora un formato para ingresar los datos del levantamiento de cargas que incluyen los equipos que consuman energía eléctrica, su demanda, factor de potencia, eficiencia en el caso de los sistemas de A.A., cantidad y uso diario, así como las luminarias y su uso. Se necesitan también los datos de las características constructivas, tales como longitud de los muros, orientación de éstos, materiales y características constructivas y tipo de aislamiento, si es que tiene. En el [Anexo II](#) se encuentra el formato para recolectar las características mencionadas.

Para construir algunos indicadores de las escuelas que corresponden a las variables de confort térmico, educación ambiental, percepción de las autoridades educativas y Acciones de Mejora del Desempeño Energético es necesaria la aplicación de encuestas para conocer las opiniones de los alumnos y docentes de las escuelas primarias (ocupantes del edificio). En el [Anexo III](#) y [Anexo IV](#) se encuentran los formatos de dichas

encuestas, donde se incluye solamente las preguntas utilizadas para la construcción de los indicadores.

Se elaboran ítems para conocer las variables de confort térmico, educación ambiental, percepción de las autoridades educativas (ISEP) y acciones de cuidado de energía, así como categorías para evaluar las opciones de respuesta de cada ítem, partiendo de totalmente de acuerdo hasta totalmente en desacuerdo. Se emplea la escala de Likert para medir las variables, utilizando preguntas (no afirmaciones) y se solicita a los encuestados que externen su reacción al elegir entre una de las 5 categorías. Se toman las actitudes obtenidas en una dirección de positiva a negativa, asignando la codificación contenida en la Tabla 4.3. Debido a que interesa conocer la puntuación de las variables y no la opinión de cada encuestado, se mide cada ítem y obtiene una puntuación sumando la codificación del porcentaje de respuesta de cada ítem.

Los ítems son elaborados en concordancia al nivel de comprensión de los grupos a encuestar, utilizando un sistema de escalas sencillas para las opciones de respuesta en el caso de los alumnos (niños de 9-12 años).

Las respuestas obtenidas de la aplicación de las encuestas son codificadas, es decir, asignadas un valor numérico para representarlas y poder analizarlas cuantitativamente.

*Tabla 4.3. Categorías y codificación de respuestas para las encuestas.*

Categoría	Codificación
Totalmente de acuerdo	5
De acuerdo	4
Neutral	3
En desacuerdo	2
Totalmente en desacuerdo	1

Los resultados de las encuestas se encuentran en el capítulo de resultados.

Las siguientes NOM-ENER son empleadas en la investigación. En el [Anexo I](#) se encuentran las NOM-ENER con su objetivo y aplicación en el presente trabajo.

4.2.1 NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.

Se realiza el cálculo para cada salón de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), para con esto verificar si cumple o no con la NOM, lo cual consiste en dividir la demanda total de luminarias entre el área en la que se encuentran, y verificar si el dato obtenido cumple con el valor que la NOM indica.

4.2.2 NORMA Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

Se recurre a la presente NOM para establecer si los muros de las escuelas reciben sombreado o no. Siendo que sólo se encuentran ventanas en el norte y sur de las edificaciones, y que en el norte no incide el sol sobre ellas, se utiliza la Figura 4.2 para determinar si las ventanas del lado sur cuentan con sombreado o no. Consiste en obtener los valores de ancho y largo de la ventana, así como la longitud del volado. Contando con los valores de W/H y L/H se buscan en la tabla para obtener el coeficiente de sombreado. Al ser menor a 0.5, se toma como criterio que cuenta con sombreado.

Ventanas al Sur con latitud de 28° y hasta 32°						
W/H →	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84
0,2	0,85	0,79	0,77	0,74	0,73	0,72
0,3	0,81	0,74	0,69	0,65	0,63	0,62
0,4	0,78	0,69	0,63	0,58	0,55	0,54
0,5	0,76	0,67	0,59	0,53	0,50	0,48
0,6	0,75	0,64	0,56	0,49	0,46	0,44
0,7	0,74	0,63	0,53	0,46	0,43	0,41
0,8	0,74	0,62	0,52	0,44	0,41	0,39
1,0	0,73	0,61	0,50	0,42	0,39	0,37
1,2	0,73	0,60	0,49	0,40	0,37	0,35

Figura 4.2. Valores empleados en NORMA NOM-008-ENER-2001.

4.2.3 NORMA Oficial Mexicana NOM-011-ENER-2006, Eficiencia Energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado y la NORMA Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2018, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire Límites, métodos de prueba y etiquetado.

Estas NOM-ENER establecen la eficiencia mínima con la que deben contar los sistemas de A.A., tipo paquete, minisplit y de ventana. Junto con el cálculo que propone Hendron que calcula la degradación de los sistemas de A.A., se sustituyen los términos en la ecuación mostrada en el marco teórico. Con estos datos se establece si cumplen o no los sistemas de A.A. de las escuelas con el valor establecido en la NOM-011-ENER-2006. Cabe mencionar que la NOM-ENER indica el valor de la eficiencia en términos de  $We/Wt$ , sin embargo, por cuestiones de las características del simulador utilizado para la investigación, se convierte a kBtu/kWh.

#### 4.2.4 Aislamiento térmico de Subprograma ASI

El programa ASI promueve el aislamiento térmico para techos y muros de algún envolvente, resultando beneficioso tanto en temporada de verano como de invierno. Enlista los beneficios como ahorro de energía y reducción de emisiones de carbono a la atmósfera. Algunas de sus medidas incluyen el aislamiento de muros y techo con hoja de poliestireno ([Programa ASI, s.f.](#)).

Habiendo realizado los métodos descritos previamente para cada escuela, en la Tabla 4.4 se encuentran las NOM-ENER empleadas en la investigación. Para las columnas de la NOM-007-ENER-2014, NOM-011-ENER-2006 y NOM-023-ENER-2018 si los valores cumplen con la Norma se le agrega “Cumple” o “No cumple”, si no. Lo mismo aplica para el Subprograma ASI. Para la columna de la NOM-008-ENER-2001 se le agrega “Cuenta” o “No cuenta” para la cuestión del sombreado. Lo anterior funge para la selección de las AMDEn.

*Tabla 4.4. Cumplimiento y detección de características de escuelas por medio de las NOM-ENER y Subprograma ASI.*



Escuela	Cumplimiento					
	NOM-007-ENER-2014	NOM-008-ENER-2001		NOM-011-ENER-2006	NOM-023-ENER-2018	Aislamiento térmico de Subprograma ASI
		Sur	Este y Oeste			
Escuela 1						
Escuela 2						
Escuela 3						
Escuela 4						

#### 4.2.5 Equipo y softwares para definir y simular estado actual

La Tabla 4.5 describe el equipo de medición para definir el estado actual. La cámara termográfica permite detectar características en la envolvente, así como medir la energía infrarroja de los objetos; la cinta métrica posibilita la obtención de las características constructivas del centro, tales como la longitud y altura de los muros; el analizador de redes permite observar la demanda eléctrica que se tiene en cierto periodo de tiempo y verificar la demanda señalada por la toma de mediciones, al tener conocimiento de las cargas que se encuentran activas en ese momento. Se utiliza equipo de seguridad personal al realizar la toma de mediciones.

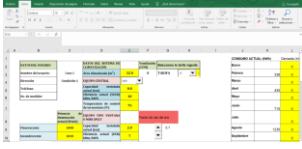
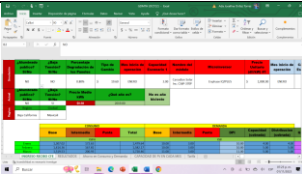
*Tabla 4.5. Equipos de medición para definir estado actual.*




Equipo	Propósito	Foto	Certificaciones
Cámara termográfica FLIR E6xt	Obtención de la temperatura aparente de la superficie de los muros de los salones de la escuela, para observar la composición interna del muro e identificar material de construcción.		UL, CSA, CE, PSE y CCC

Flexómetro	Obtención de longitudes y alturas de muros y techo.		---
Analizador de redes y Calidad de Potencia Fluke 430-II	Validar las mediciones realizadas de la demanda eléctrica horaria.		Estándar IEC 61000-4-30 Clase A

Con ayuda de los equipos descritos en la Tabla 4.6, se define el estado actual de la escuela, debido a que los datos obtenidos son ingresados en programas que permiten modelarlo.

*Tabla 4.6. Softwares para simular comportamiento energético y generar escenarios de optimización.*

Software	Características	Foto
Simulador de cargas térmicas	Simulador del Instituto de Ingeniería que utiliza una función del método de transferencia de funciones ASHRAE para calcular las horas grado ( <a href="#">Suástegui et al., 2014</a> ).	
Simulador de tarifas GDMTO y GDBT	Simulador elaborado por Suástegui que calcula la tarifa y proyecta comportamiento futuro.	

Fluke Power Log 430-II	Herramienta utilizada para visualizar los datos obtenidos del Analizador de Redes y Calidad de Potencia Fluke 430-II.	
Calculadora de emisiones del SEMARNAT	Programa para calcular las emisiones de GEI por combustible (dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, entre otros).	
Minitab	Programa de estadística que analiza datos.	

El Simulador de cargas térmicas permite modelar el comportamiento actual de la escuela, al ingresar los datos recabados. Éste toma en cuenta la ganancia de calor por ocupantes. Para la ocupación de los salones, se utiliza el factor de corrección de ganancia de calor para niños que indica el ASHRAE, el cual es de 0.75. en relación con la de un adulto ([ASHRAE, 2009](#)).

La calculadora de emisiones funciona para calcular las emisiones de  $CO_2$  emitidas por las escuelas, y Minitab permite identificar el efecto que cada factor tiene en la variable de respuesta, siendo este último el desempeño energético de cada escuela. Con los materiales y equipos descritos se permite establecer una LBE<sub>n</sub>, y así poder comparar con el desempeño energético actual del centro contra el de las AMDE<sub>n</sub>, así como de sus indicadores de sostenibilidad.

Como parte del primer objetivo específico de la investigación, “Caracterizar cuatro escuelas primarias seleccionadas de acuerdo con su desempeño energético y sostenibilidad, al seleccionar las variables e indicadores más apropiados” (considerando algunos de los indicadores propuestos por Dias Pereida et al.), se tiene lo siguiente: ([Dias Pereida et al., 2014](#)).

A su vez, como parte del tercer objetivo específico: “Identificar los ODS más apropiados para demostrar el desempeño energético de las escuelas evaluadas, así como sus metas e indicadores”, se tiene la Figura 4.3. Cabe mencionar que los indicadores propuestos no son los que se incluyen en el documento de las Naciones Unidas, sino instrumentos para la evaluación del desarrollo sostenible.

Tabla 4.7. Variables con su descripción y unidades para caracterizar escuelas primarias.

Variables	Descripción de variables	Unidad	ODS relacionado
Alumnos	No. de alumnos	Número	--
Ambiental	GEI emitidos por la escuela anualmente	Ton GEI/año	11, 12, 13, 7
	Enseñanza de medio ambiente y sostenibilidad	Puntos con escala de 1-5	4, 11, 12, 13
	Conocimiento de los ODS	Puntos con escala de 1-5	4, 11, 12, 13
Área climatizada	Metros cuadrados climatizados	m <sup>2</sup>	11, 12, 13
Capacidad de enfriamiento	Capacidad de enfriamiento promedio por área	Ton/m <sup>2</sup>	
	Capacidad de enfriamiento promedio por salón de grupo	Ton/salón	11, 12, 13
	Capacidad instalada total	Ton	11, 12, 13
Clima organizacional	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de alumnos	Puntos con escala de 1-5	4
	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de docentes	Puntos con escala de 1-5	8
Consumo eléctrico	Consumo eléctrico anual	kWh/año	7, 11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del alumno	Puntos con escala de 1-5	11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del docente	Puntos con escala de 1-5	11, 12, 13
Económico	Facturación anual	Pesos/año	7, 11, 12, 13
	Precio medio kWh	Pesos/kWh	7, 11, 12, 13

Salones	No. de salones de grupo	Número	--
	No. de salones totales	Número	--
Sistemas A.A.	Dimensionamiento adecuado de los sistemas de A.A.	Porcentaje positivo o negativo	4, 8, 12
	Porcentaje de número de sistemas de A.A. que cumplen con la eficiencia requerida	Porcentaje	4, 7, 8, 9
	Promedio de eficiencia de sistemas de A.A.	Promedio de REEE	7, 9
Potencia de iluminación	Demanda de iluminación instalada	kW	7, 11, 12, 13

*Tabla 4.8. Indicadores de desempeño energético con unidades y Objetivo de Desarrollo Sostenible relacionado.*

Indicadores	Unidades	ODS relacionado
Consumo eléctrico por alumno anual	kWh/alumno/año	7, 11, 12, 13
Consumo eléctrico por área climatizada anual	kWh/m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por alumno anual	Pesos/alumno/año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por área climatizada anual	Pesos/m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
GEI emitidos por alumno anual	ton GEI/alumno/año	11, 12, 13, 7
GEI emitidos por área climatizada anual	ton GEI/m <sup>2</sup> /año	11, 12, 13, 7
Promedio de la satisfacción de los alumnos con el confort térmico	Puntos con escala de 1-5	4
Promedio de la satisfacción de los docentes con el confort térmico	Puntos con escala de 1-5	8

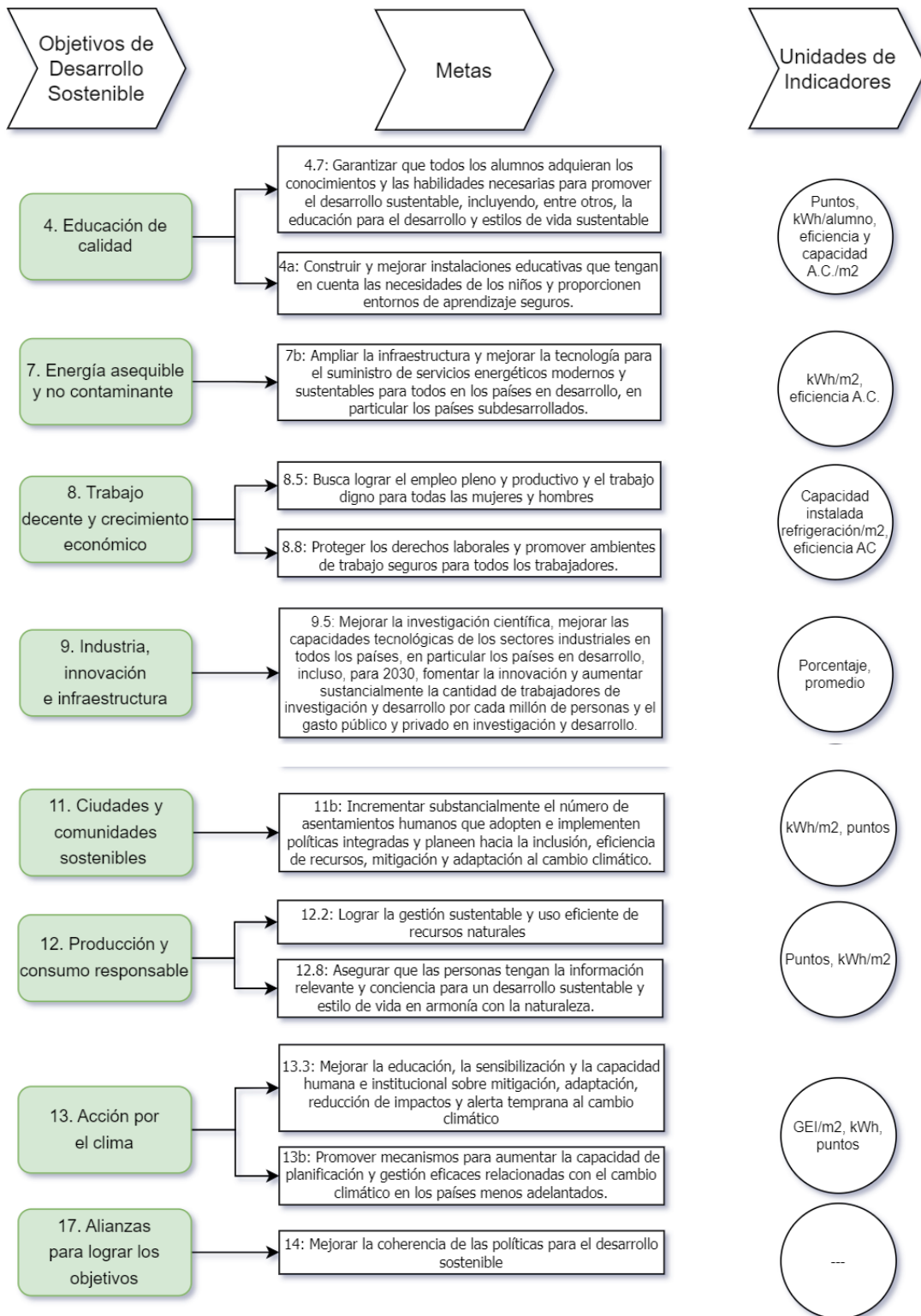


Figura 4.3. Objetivos de Desarrollo Sostenible, metas e indicadores asociados a la presente investigación. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Validez y confiabilidad

Para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados, se describen a continuación los procedimientos y características tomadas en cuenta para garantizarlos. Debido a que no es posible trabajar con una muestra probabilística se realiza un diseño de experimentos factorial completo de  $2^2$  y se seleccionan las escuelas cuyas características contengan los factores y niveles de interés.

Para la realización del diagnóstico energético, se realizan 3 formatos para recabar los datos necesarios, siendo éstos el levantamiento de luminarias, el levantamiento de cargas, que incluye equipos que consuman energía eléctrica, así como sistemas de A.A. (cada uno con los valores que necesitan ser ingresados al simulador para modelar el comportamiento energético del estado actual de la escuela), así como las encuestas para alumnos y docentes.

El levantamiento de cargas, luminarias y características constructivas es realizado por la autora de la presente investigación y por alumnos de la carrera de Ingeniero en Energías Renovables, habiendo tenido una orientación de cómo obtener dicha información, así como del uso del equipo utilizado. El analizador de redes tiene la función, en esta investigación, de validar el levantamiento de cargas realizado, al comparar lo recabado con las mediciones del analizador, y así validar el comportamiento energético del centro.

Para la obtención de la LBE<sub>n</sub> de cada una de las escuelas se utilizaron los registros históricos del consumo eléctrico de doce meses que representara el comportamiento típico de consumo eléctrico para cada usuario, buscando que fueran lo más reciente posible.

Al ingresar la información al simulador, se realiza una simulación por cada área de la escuela, es decir, por cada salón se creó un archivo distinto con sus equipos, luminarias, comportamiento energético y características constructivas. El recibo de energía eléctrica de la escuela comprende la energía de todo el plantel, es decir, todas sus distintas áreas que consumen energía, con ayuda de los recibos eléctricos mensuales de CFE, se compara el consumo real de la escuela con el simulado. Para el simulador de cargas térmicas, se manejó un rango de error de  $\pm 5\%$ , además de un índice de correlación de

Spearman que sea mayor a 0.9, entre los consumos simulados contra reales como criterio de aceptación.

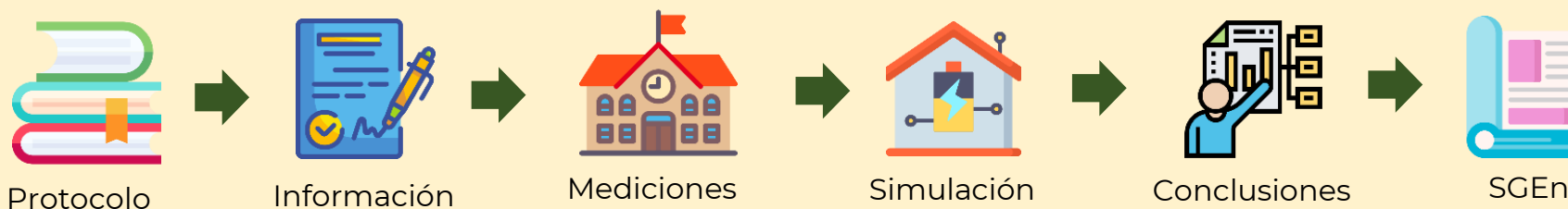
#### 4.4 Procedimiento

A continuación, se encuentra la secuencia de actividades a realizar para la elaboración del presente trabajo, así como un graphical abstract que la ilustra.

*Tabla 4.9. Actividades de la presente investigación vinculadas a pasos de la NOM NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2019.*

Actividad	Paso de la NOM NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2019.
Establecer problema de investigación	
Identificar los ODS y sus metas alineadas al proyecto	
Leer bibliografía referente al tema	
Definir objetivos e hipótesis	
<b>Realizar acercamiento y comprensión de la organización</b>	<b>4.1</b>
<b>Definir necesidades de la organización</b>	<b>4.2</b>
<b>Determinar el alcance</b>	<b>4.3</b>
<b>Establecer compromiso de la alta dirección de la organización</b>	<b>5.1</b>
<b>Establecer política energética</b>	<b>5.2</b>
<b>Establecer indicadores de desempeño energético e identificar atributos para caracterizar escuela</b>	<b>6.4</b>
<b>Definir información necesaria a recabar</b>	<b>6.6</b>
Elaborar formatos para recaudación de la información	
Realizar el diseño de experimentos para selección de escuelas	
Seleccionar escuelas	
Realizar el diseño de experimentos para evaluar desempeño de AMDEn	
Hacer mediciones a campo	
<b>Realizar revisión energética</b>	<b>6.3</b>
Clasificar la información	
<b>Establecer línea de base energética</b>	<b>6.5</b>
Caracterizar escuela	
Simular comportamiento energético de escuela	
Proponer AMDEn	
<b>Establecer la competencia de las personas involucradas</b>	<b>7.2</b>
Simular comportamiento con AMDEn	
Obtener resultados	
Realizar conclusiones y recomendaciones	
<b>Diseño del SGE</b>	<b>4.4</b>

# Metodología para el diagnóstico energético y diseño de un Sistema de Gestión de la Energía en escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C.



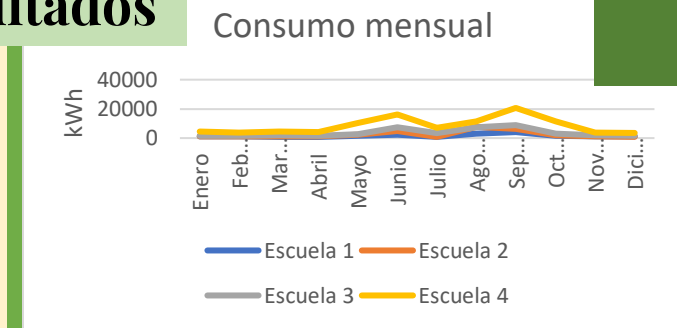
## Variables

- Sistemas de A.A.
- AMDEn
- Indicadores de desempeño energético y de ODS
- NOM-ENER
- Confort térmico

## Sujeto

Escuela primaria	Factores		Nivel		Variable de respuesta Consumo eléctrico anual en kWh
	(A) No. de grupos por turno	(B) Turno	Factor A	Factor B	
Escuela 1	6	Matutino	-1	-1	
Escuela 2	12	Matutino	+1	-1	
Escuela 3	6	Mixto	-1	+1	
Escuela 4	12	Mixto	+1	+1	

## Resultados



## ODS relacionados

Figura 4.4. Graphical abstract de la investigación. Fuente: Elaboración propia

Para cumplir los objetivos planteados de la investigación, así como responder las preguntas de investigación, se lee bibliografía referente al tema de desempeño energético y desarrollo sostenible en escuelas. Se realiza un acercamiento con la ISEP para exponer las intenciones y requerimientos del proyecto. Una vez habiendo contado con la autorización y compromiso de las autoridades educativas del estado, se solicitan los datos disponibles de las escuelas primarias.

Se toman en cuenta los valores proporcionados por la ISEP que corresponden a turno, número de alumnos, docentes y grupos. Después de analizar los datos de las distintas escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, se encuentra que, a raíz de los datos proveídos, lo más conveniente es trabajar con un diseño factorial completo  $2^k$ , siendo este el  $2^2$  ([Gutiérrez y de la Vara, 2012](#)). Cada escuela se considera una prueba experimental, para así evaluar sus distintas características y combinaciones, siendo la variable de salida el consumo eléctrico anual en kWh de cada escuela, como se observa en la Tabla 4.10.

*Tabla 4.10. Escuelas primarias a seleccionar con sus respectivos factores y niveles.*

Prueba experimental	Factores		Variable de respuesta
	Factor A	Factor B	Consumo eléctrico anual en kWh
Escuela 1	-1	-1	
Escuela 2	+1	-1	
Escuela 3	-1	+1	
Escuela 4	+1	+1	

Una vez habiendo seleccionado e identificado las escuelas primarias, se solicita un oficio a la ISEP para contar con la autorización por escrito y presentar el documento al momento de realizar el acercamiento a la escuela. Se procede a acudir a cada escuela, presentar el oficio, exponer el proyecto y sus intenciones, y solicitar acceso a ésta y autorización de la dirección de cada una.

Se realizan los levantamientos de información requeridos, tales como características constructivas, cargas, luminarias, entrevistas para conocer el comportamiento energético del centro, así como distintas opiniones de los docentes, alumnos y personal de mantenimiento (por medio de encuestas), etc. Se toman fotografías con la cámara termográfica y se conecta un analizador de redes al centro de carga al momento que se realiza el levantamiento de datos, tomando nota de los equipos que se encuentren demandando energía en ese momento, para posteriormente comparar y validar los resultados obtenidos.

Una vez teniendo todos los datos recabados, se proceden a filtrar y organizar, para trabajar en el primer objetivo específico, “Caracterizar cuatro escuelas primarias seleccionadas de acuerdo con su desempeño energético y sostenibilidad, al seleccionar las variables e indicadores más apropiados”. Dichos datos se ingresan al simulador de cargas térmicas. Para simular el consumo eléctrico de las escuelas, se sigue la siguiente rúbrica:

*Tabla 4.11. Características simulaciones.*

Salón	Equipos	Luminarias	No. ocupantes	Sistema A.A.
Dirección	✓	✓	✓	✓
Salones de grupo		✓	✓	✓
Salón extra		✓	✓	✓
Salón extra		✓	✓	✓

De acuerdo con la Tabla 4.11, en la simulación de dirección se incluyen todos los equipos que demandan energía de toda la escuela, así como las luminarias de ese salón, el número de ocupantes y sistema de A.A, con su respectivo comportamiento energético. En el archivo de los demás salones, sólo se incluye sus respectivas luminarias, el número de ocupantes y su sistema de A.A., con su respectivo comportamiento energético.

Se crean diferentes carpetas del simulador de cargas térmicas para representar el comportamiento de la escuela. En la carpeta de “Dirección”, se incluyen todos los equipos pertenecientes a la escuela cuyo uso se dé entre semana (computadoras,

laptops, proyector, cafetera, etc.), las luminarias de los salones y su número de ocupantes. Los salones de grupo que presentaran las mismas características constructivas (tipo de techo, tamaño de ventanas y puertas, muros, etc.) son simulados en otra carpeta, y las características propias de cada salón (muros interiores, A.A., ocupación y luminarias) se alteran para cada salón y así obtener su respectiva simulación.

Se toman en cuenta los días hábiles escolares, por lo que se consulta el calendario escolar vigente de educación básica de la Secretaría de Educación Pública para el año a evaluar, donde contiene los días hábiles, de consejo técnico y días de vacaciones. Se realiza una proporción para tomar en cuenta los días en los que los equipos y luminarias fueron utilizados, y así alterar el consumo anual simulado. Se procede a sumar los consumos de cada salón. Además, los equipos que son utilizados en fines de semana, son sumados a la simulación de manera separada, tales como refrigeradores, congeladores, luminarias exteriores, etc.

Con los registros históricos que contienen el consumo real mensual de las escuelas se compara con el simulado y calcula el porcentaje de error. Se itera hasta lograr un porcentaje de error de  $\pm 5\%$  en el consumo simulado anual y de verano, hasta que se logre el porcentaje de error mencionado en relación a los datos medidos por CFE. Es importante mencionar que, al momento de simular las escuelas, posteriormente de haber alcanzado un porcentaje de error de  $\pm 5\%$  se estandarizan sus características, como las de tipo constructivo, equipos, número de ocupantes, sistemas de A.A., etc., para mantener las mismas condiciones en su nivel bajo, es decir, su estado actual sin ninguna AMDEn implementada y que la variable de respuesta sea confiable, para así poder observar el efecto de cada AMDEn en su consumo eléctrico. Se simula el comportamiento energético de las escuelas con dichas características estandarizadas. Una vez teniendo el consumo eléctrico ajustado, se calcula el ahorro eléctrico anual y de verano. Se tienen entonces tres consumos: el real (correspondiente a los históricos de CFE), el simulado (el que cuenta con porcentaje de error de  $\pm 5\%$  en relación al real) y el ajustado (estandarizado). Este último se utiliza para el análisis de resultados.

Se procede a calcular el consumo económico. Con el Simulador de tarifas (correspondiente al tipo de tarifa que la escuela tenga) se ingresan los datos y realizan los ajustes necesarios.

Una vez teniendo el consumo eléctrico ajustado y el costo anual de éste, se procede a simular el consumo eléctrico acumulado de 10 años, tomando en cuenta la degradación de los sistemas de A.A. Con el consumo eléctrico acumulado de 10 años, se simula el costo eléctrico, con los simuladores de tarifas para cada año, tomando en cuenta la inflación. Por último, se realiza una evaluación económica que tome en cuenta el costo de inversión de las AMDEN a implementar, con su Valor Actual Neto (VAN) y tiempo de retorno de inversión.

#### 4.5 Plan de análisis de resultados

Se proponen cuatro AMDEN para cada plantel, por lo que se elige trabajar con un diseño de experimentos factorial completo de  $2^4$  debido a que se proponen 4 factores, de dos niveles cada uno. Cada factor corresponde a aspectos que contribuyen al desempeño energético, tal como aislamiento, sombreado, AMDEN sin costo y la eficiencia de los sistemas de A.A. El nivel bajo es la condición actual de dicho factor en la escuela, o el estado actual, antes de implementar la AMDEN y el nivel alto es la implementación de la AMDEN en sí. La variable de respuesta en el diseño de experimentos es el consumo eléctrico anual ajustado, es decir, el estandarizado, en kWh.

En el SGEN se describe de manera más detallada los procesos y procedimientos para la mejora del desempeño energético. La Tabla 4.12 contiene el nombre del factor (AMDEN), sus niveles bajos y altos (estado actual e implementación de la AMDEN en sí) y la variable de respuesta que es el consumo eléctrico anual en kWh.

*Tabla 4.12. Factores, niveles y variable de respuesta.*

No. de factor	Nivel		Variable de respuesta
	Bajo	Alto	Consumo eléctrico anual (kWh)
1	-1	+1	

2	-1	+1	
3	-1	+1	
4	-1	+1	

El diseño de experimentos y orden de las pruebas experimentales se encuentran en la Tabla 4.13. Se ingresan los factores con sus respectivos niveles al simulador de cargas térmicas.

*Tabla 4.13. Diseño de experimentos de AMDEn a implementar.*

Prueba experimental	Factores				Variable de respuesta (kWh)
	1	2	3	4	
1	-1	-1	-1	-1	
2	+1	-1	-1	-1	
3	-1	+1	-1	-1	
4	+1	+1	-1	-1	
5	-1	-1	+1	-1	
6	+1	-1	+1	-1	
7	-1	+1	+1	-1	
8	+1	+1	+1	-1	
9	-1	-1	-1	+1	
10	+1	-1	-1	+1	
11	-1	+1	-1	+1	
12	+1	+1	-1	+1	
13	-1	-1	+1	+1	
14	+1	-1	+1	+1	
15	-1	+1	+1	+1	
16	+1	+1	+1	+1	

Una vez teniendo los datos generados del diseño de experimentos, se proceden a ingresar al software Minitab para encontrar el efecto que cada una de las AMDEn tiene en el desempeño energético de la escuela. Se realiza un análisis de varianza y diagramas de Pareto, todo esto con el objetivo de visualizar el efecto que cada una de las AMDEn tiene, así como las interacciones entre ellas.

## Capítulo 5

### Resultados

En el presente capítulo se encuentran los resultados obtenidos del procedimiento descrito en la metodología. Se incluye lo reunido de la toma de mediciones de cada escuela primaria, como características constructivas, número de grupos, salones, turnos, alumnos, equipos, resultados de las encuestas aplicadas a alumnos y docentes, etc. Se presentan los indicadores obtenidos de cada escuela, así como el ODS con el que se relaciona, una proyección a 10 años del consumo eléctrico de cada escuela, así como del recurso económico destinado al pago de dicho consumo, junto con una evaluación económica de algunas de las AMDEn a implementar. Cabe mencionar que por motivos de confidencialidad no se nombran las escuelas estudiadas y se les refiere como “Escuela 1”, “Escuela 2”, etc.

#### 5.1 Comportamiento energético, características e indicadores de escuelas primarias típicas de la zona urbana de Mexicali

En la Tabla 5.1 se encuentran las escuelas evaluadas en la presente investigación con sus respectivos factores y niveles.

*Tabla 5.1. Escuelas evaluadas en la investigación.*

Escuela primaria	Factores		Niveles		Variable de respuesta
	(A) No. de salones de grupo	(B) Turno	Factor A	Factor B	Consumo eléctrico anual en kWh
Escuela 1	6	Matutino	-1	-1	19,651
Escuela 2	6	Mixto	-1	+1	31,200
Escuela 3	12	Matutino	+1	-1	43,240
Escuela 4	12	Mixto	+1	+1	97,078

La LBE en se construye a partir de los recibos eléctricos de CFE. Los registros históricos corresponden al año 2019, año con el comportamiento típico antes la contingencia sanitaria COVID-19. Se consulta el consumo mensual de cada escuela, el cual se encuentra graficado en la Figura 5.1.

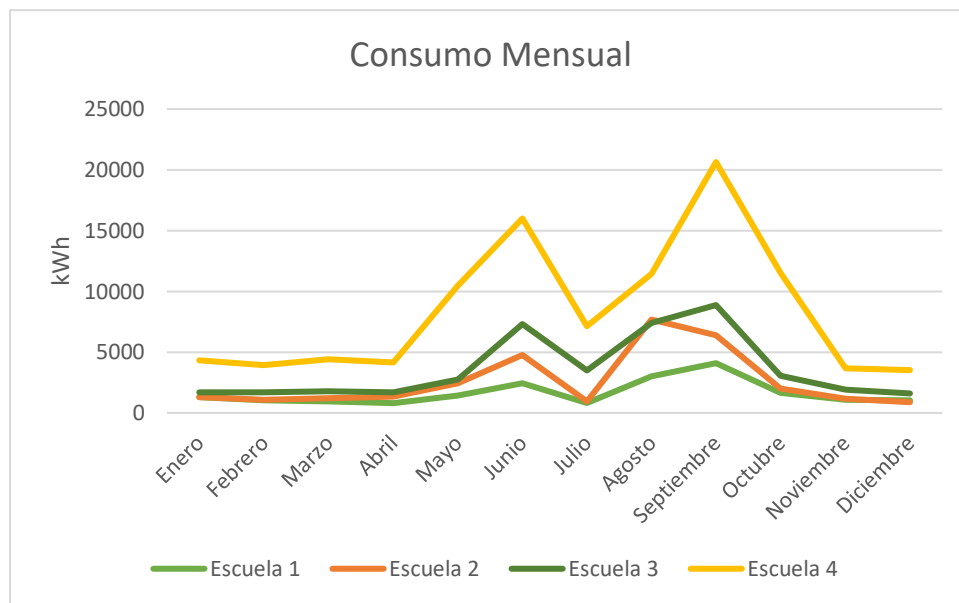


Figura 5.1. Consumo eléctrico mensual de las cuatro escuelas en kWh real.

Se puede observar como la Escuela 1 es la que tiene el menor consumo debido a que es la escuela cuyos niveles de sus dos factores son bajos, contando sólo con un turno matutino y 6 salones de grupo. Mientras que la Escuela 4 cuenta con el consumo más alto, debido a que los niveles de sus factores son altos, contando con turno mixto y 12 salones de grupo. La Escuela 2 y Escuela 3 son la tercera segunda y escuela con mayor consumo, respectivamente. Las cuatro escuelas presentan su mayor consumo en el mes de septiembre (a excepción de la Escuela 2, cuyo mayor consumo se presenta en el mes de agosto), a causa de que es el mes perteneciente al periodo de verano que tiene mayores días de asistencia.

### 5.1.1 Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética

Para la selección de las AMDEn a implementar se toman en cuenta lo indicado por las NOM-ENER y las características que promueve el Subprograma ASI de aislamiento térmico. En la Tabla 5.2 se encuentra la rúbrica que forma parte de la selección de las AMDEn a utilizar y el subprograma ASI, así como el resultado que éstas arrojaron.

*Tabla 5.2. Rúbrica empleada para selección de AMDEn.*

Escuela	Cumplimiento					
	NOM-007-ENER-2014	NOM-008-ENER-2001		NOM-011-ENER-2006	NOM-023-ENER-2018	Aislamiento térmico de subprograma ASI
		Sur	Este y Oeste			
Escuela 1	NA	Cuenta	No cuenta	No cumple	No cumple	No cumple
Escuela 2	NA	Cuenta	No cuenta	No cumple	NA	No cumple
Escuela 3	Cumple	Cuenta	No cuenta	No cumple	No cumple	No cumple
Escuela 4	Cumple	Cuenta	No cuenta	No cumple	No cumple	No cumple

Debido a que todas las luminarias de las escuelas fueron reemplazadas por tipo LED y que las que aplican a la NOM-007-ENER-2014 sí cumplen, se descarta la AMDEn de sustitución de luminarias que cuenten con una demanda menor. Cabe mencionar que las Escuelas 1 y 2 no aplican para esta Norma, ya que su carga total conectada para el alumbrado es menor a 3 kW.

Con la NOM-008-ENER-2001, se puede determinar que muros cuentan con sombreado y cuáles no. Con esto se puede proponer como acción de mejora el sombrear los muros que cuenten con radiación solar directa.

Se puede observar que, en cuanto a la NOM-011-ENER-2006 ni la NOM-023-ENER-2018, la mayoría de los sistemas de A.A. de las escuelas no cumplen con el valor de la eficiencia mínima establecida por dichas NOM-ENER. Se propone entonces la sustitución de sistemas de A.A. de mayor eficiencia cuyo valor cumpla con lo señalado. Para lo cual, se selecciona el valor de 17 REEE para sistemas de paquete y 16 REEE para sistemas de minisplit. Se sugieren dichos valores para que, tomando en cuenta la degradación de su eficiencia, se encuentren dentro del rango de lo señalado por las

NOM-ENER por un periodo de 10 años. Dentro de dicha AMDEn, se incluye el correcto dimensionamiento de los sistemas, es decir, se toma en cuenta las características constructivas del salón, así como el mayor número posible de ocupantes de éste. Como temperatura de diseño, se selecciona la temperatura sugerida por Hernández de 68°F ([Hernández, 2009](#)). Con esta temperatura se determina la capacidad del sistema de A.A. en toneladas térmicas, considerando los materiales de techo y muros, así como número de ocupantes en los salones; para los demás escenarios se utiliza la temperatura de termostato. Con los resultados de la Tabla 5.2, se procede a aceptar la segunda hipótesis de la investigación, la cual es que “Las escuelas primarias analizadas no cumplen los valores establecidos por las NOM-ENER de sistemas de A.A. empleadas en esta investigación”.

Por último, las características del aislamiento térmico no coinciden con las que el Programa ASI promueve, por lo que se propone como AMDEn el aislamiento de techo y muros. En el aislamiento de muros, se agrega una pulgada de poliestireno al muro; en cuanto al techo, la AMDEn consiste en agregarle una pulgada de poliestireno, así como pintura antirreflejante.

En lo que respecta a las AMDEn sin costo, estas son el programar la temperatura de los sistemas de A.A. a 78 °F (26°C), (temperatura de confort para la zona de la ciudad de Mexicali([ASHRAE, 2009](#).) encendido de éstos solamente durante el horario de clases y el correcto cerrado de puertas y ventanas. En el SGEEn se describe de manera más detallada los procesos y procedimientos para la mejora del desempeño energético. En las Tablas 5.3 y 5.4 se encuentran las AMDEn a implementar, que son los factores dentro del diseño de experimentos, con sus respectivos niveles y orden de pruebas experimentales. El nivel bajo es la AMDEn sin implementarse, y en la mayoría de los casos, es el estado actual de la escuela.

Tabla 5.3. Factores del diseño de experimentos con niveles.

No. de factor	Nombre del factor	Nivel		Variable de respuesta
		Bajo	Alto	Consumo energético anual (kWh)
1	Eficiencia A.A.	Eficiencia actual	Eficiencia superior	
2	Acciones sin costo	Sin acciones	Con acciones	
3	Sombreado de muros este y oeste	Sin sombreado	Con sombreado	
4	Aislamiento de techo y muros	Sin aislar	Aislado	

Tabla 5.4. Diseño de experimentos con pruebas experimentales.

Prueba experimental	Factores				Variable de respuesta (kWh)
	Eficiencia A.A.	Acciones sin costo	Sombreado este y oeste	Aislamiento techo y muros	
1	Eficiencia actual	Sin acciones	Sin sombreado	Sin aislar	
2	Eficiencia superior	Sin acciones	Sin sombreado	Sin aislar	
3	Eficiencia actual	Acciones	Sin sombreado	Sin aislar	
4	Eficiencia superior	Acciones	Sin sombreado	Sin aislar	
5	Eficiencia actual	Sin acciones	Con sombreado	Sin aislar	
6	Eficiencia superior	Sin acciones	Con sombreado	Sin aislar	
7	Eficiencia actual	Acciones	Con sombreado	Sin aislar	
8	Eficiencia superior	Acciones	Con sombreado	Sin aislar	
9	Eficiencia actual	Sin acciones	Sin sombreado	Aislados	
10	Eficiencia superior	Sin acciones	Sin sombreado	Aislados	

11	Eficiencia actual	Acciones	Sin sombreado	Aislados	
12	Eficiencia superior	Acciones	Sin sombreado	Aislados	
13	Eficiencia actual	Sin acciones	Con sombreado	Aislados	
14	Eficiencia superior	Sin acciones	Con sombreado	Aislados	
15	Eficiencia actual	Acciones	Con sombreado	Aislados	
16	Eficiencia superior	Acciones	Con sombreado	Aislados	

### 5.1.2 Características escuelas

A continuación, se encuentran las características con las que cada escuela cuenta, así como la caracterización e indicadores resultado de la toma de mediciones. Cabe mencionar que, al momento de realizar las simulaciones, se estandarizan características como de tipo constructivas, de equipos, luminarias, número de alumnos, sistemas de A.A., etc., con el fin de contar con las mismas condiciones para que la respuesta del diseño de experimentos sea confiable y poder así observar el efecto que cada AMDEn tiene en la variable de respuesta, que es el consumo eléctrico en kWh. No se estandarizan las AMDEn sin costo, que corresponden a horas de uso de sistemas de A.A. y temperatura de éstos, debido a las características particulares de horarios de las escuelas.

#### 5.1.2.1 Escuela 1

Turno: Matutino

No. de salones de grupos: 6

No. de salones totales: 10

No. alumnos: 210

Tipo de tarifa: GDBT

Características constructivas:

9 salones totales, 6 considerados de grupo y 3 de no grupo (dirección, USAER/biblioteca y medios). Techo de lámina, muros de ladrillo y block de 6 pulgadas, no película reflectiva en ventanas, etc.

Tabla 5.5. Equipos usados en la escuela con su respectiva demanda, cantidad y horas a la semana utilizados.

Equipo	Demanda (W)	Cantidad	Horas/semana
Ventilador pedestal*	65	1	3.33
Ventilador de techo*	65	1	25
Refrigerador 33 ft3 usado	760	1	168
Refrigerador chico 14 ft3 usado	300	1	168
Impresora	1368	1	1.6
Impresora	16	1	5
Router	5	1	20
Módem	10	1	20
Bocina	28	1	5
Proyector	200	2	10
MVC	60	1	3.33
Dispensador	173	3	50
Microondas 1	1350	1	.66
Cafetera	900	1	25
Microondas 2	1000	1	.25
Laptop	90	2	15
Computadora	420	4	15.3

Tabla 5.6. Variables que caracterizan el desempeño energético de la Escuela 1, con su descripción, valores y unidades, así como los ODS con los que se relacionan.

Variables	Descripción de variables	Valor	ODS relacionado
Alumnos	No. de alumnos	210 (Ajustado: 28 alumnos por grupo)	--
Ambiental	GEI emitidos por la escuela anualmente	10.54 ton GEI/año	11, 12, 13, 7
	Enseñanza de medio ambiente y sostenibilidad	4.31	4, 11, 12, 13
	Conocimiento de los ODS	2.78	4, 11, 12, 13

Área climatizada	Metros cuadrados climatizados	440.5 m <sup>2</sup>	11, 12, 13
	Capacidad de enfriamiento promedio por salón de grupo	3.77 ton/salón	11, 12, 13
	Capacidad instalada total	31.66 Ton	11, 12, 13
Clima organizacional	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de alumnos	4.18	4
	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de docentes	2.4	8
Consumo eléctrico	Consumo eléctrico anual	19,651 kWh/año	7, 11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del alumno	3.82	11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del docente	3.8	11, 12, 13
Económico	Facturación anual	\$55,607.85 Pesos/año	7, 11, 12, 13
	Precio medio kWh	\$2.83 Pesos/kWh	7, 11, 12, 13
Salones	No. de salones de grupo	6	--
	No. de salones totales	9	--
Sistemas A.A.	Dimensionamiento adecuado de los sistemas de A.A.	121.77%	4, 8, 12
	Porcentaje de número de sistemas de A.A. que cumplen con la eficiencia requerida	0%	4, 7, 8, 9
	Promedio de eficiencia de sistemas de A.A.	7.9	7, 9

Potencia de iluminación	Demanda de iluminación instalada	1.614 kW	7, 11, 12, 13
-------------------------	----------------------------------	----------	---------------

La Tabla 5.6 caracteriza la Escuela 1 de acuerdo con diferentes variables que abarcan el ámbito de capacidad y características del sistema de A.A., potencia de iluminación, consumo eléctrico, facturación y ambiental. En los indicadores encontrados se observa como el dimensionamiento para los sistemas de A.A. es mayor a 100%, lo que indica un sobredimensionamiento. Además de mostrar una eficiencia de éstos menor a lo que la NOM-011-ENER-2006 y la NOM-023-ENER-2018 indican debe de ser.

*Tabla 5.7. Indicadores de desempeño energético de la Escuela 1.*

Indicadores	Unidades	ODS relacionado
Consumo eléctrico por alumno anual	93.58 kWh/alumno/año	7, 11, 12, 13
Consumo eléctrico por área climatizada anual	44.61 kWh/m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por alumno anual	264.8 Pesos/alumno/año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por área climatizada anual	126.23 Pesos/m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
GEI emitidos por alumno anual	50 kg GEI/m <sup>2</sup> /año	11, 12, 13, 7
GEI emitidos por área climatizada anual	24 kg GEI/m <sup>2</sup> /año	11, 12, 13, 7
Satisfacción de los alumnos con el confort térmico	4.75	4
Satisfacción de los docentes con el confort térmico	3.4	8

En la Tabla 5.7 se observa como la satisfacción con el confort térmico de los alumnos es mayor que la de los docentes, indicando una adaptación más fácil al clima por parte de éstos. Este último resultado responde a la cuarta hipótesis de la investigación, la cual es “Los ocupantes del edificio no se encuentran satisfechos con el confort térmico”. Dicha hipótesis se rechaza para los alumnos pertenecientes a dicha escuela y *se acepta para los docentes.*

### 5.1.2.2 Escuela 2

Turno: Mixto (matutino y vespertino)

No. de salones de grupo: 6

No. de salones totales: 9

No. alumnos: 222

Tipo de tarifa: GDMTO

Características constructivas:

9 salones en uso totales, 6 considerados de grupo y 3 de no grupo (dirección matutina, vespertina y biblioteca). Techo de asbesto, muros de ladrillo y block de 6 pulgadas, no película reflectiva en ventanas, etc.

*Tabla 5.8. Equipos usados en la escuela con su respectiva demanda, cantidad y horas a la semana utilizados en la Escuela 2.*

Equipo	Demanda (W)	Cantidad	Horas/semana
Microondas 1	1050	1	.083
Cafetera 1	1050	1	20
Impresora 1	1010	1	20
Módem	10	1	20
Refrigerador 1	350	1	168
Computadora	65	2	20
Impresora 2	630	1	17.5
Refrigerador 2	700	1	168
Cafetera 2	700	1	20
Microondas 2	1010	1	.83
Refrigerador 3	300	1	168
Horno	1200	1	.83
Plancha	1000	1	.42
Dispensador	180	3	168

*Tabla 5.9. Variables que caracterizan el desempeño energético de la Escuela 2 con su descripción, valores y unidades, así como los ODS con los que se relacionan.*

Variables	Descripción de variables	Valor	ODS relacionado
-----------	--------------------------	-------	-----------------

Alumnos	No. de alumnos	222 <i>(Ajustado: 28 alumnos por grupo)</i>	--
Ambiental	GEI emitidos por la escuela anualmente	16.34 ton GEI/año	11, 12, 13, 7
	Enseñanza de medio ambiente y sostenibilidad	---	4, 11, 12, 13
	Conocimiento de los ODS	---	4, 11, 12, 13
Área climatizada	Metros cuadrados climatizados	430 m <sup>2</sup>	11, 12, 13
Capacidad de enfriamiento	Capacidad de enfriamiento promedio por salón de grupo	4 ton/salón	11, 12, 13
	Capacidad instalada total	36 ton	11, 12, 13
Clima organizacional	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de alumnos	---	4
	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de docentes	2.4	8
Consumo eléctrico	Consumo eléctrico anual	31,200 kWh/año	7, 11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del alumno	---	11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del docente	3.8	11, 12, 13
Económico	Facturación anual	\$67,063.21 Pesos/año	7, 11, 12, 13
	Precio medio kWh	\$2.15 Pesos/kWh	7, 11, 12, 13
Salones	No. de salones de grupo	6	--
	No. de salones totales	9	--

Sistemas A.A.	Dimensionamiento adecuado de los sistemas de A.A.	145.45%	4, 8, 12
	Porcentaje de número de sistemas de A.A. que cumplen con la eficiencia requerida	0%	4, 7, 8, 9
	Promedio de eficiencia de sistemas de A.A.	7.96	7, 9
Potencia de iluminación	Demanda de iluminación instalada	1.168 kW (Ajustado: 1.578 kW)	7, 11, 12, 13

La Tabla 5.9 caracteriza la Escuela 2 de acuerdo con diferentes variables que abarcan el ámbito de capacidad y características del sistema de A.A., potencia de iluminación, consumo eléctrico, facturación y ambiental. También, se puede observar como el dimensionamiento para los sistemas de A.A. es mayor a 100%, lo que indica un sobredimensionamiento de éstos. Además de mostrar una eficiencia de éstos menor a lo que la NOM-011-ENER-2006 y la NOM-023-ENER-2018 indican debe de ser.

*Tabla 5.10. Indicadores de desempeño energético de la Escuela 2.*

Indicadores	Unidades	ODS relacionado
Consumo eléctrico por alumno anual	140.5 kWh/alumno/año	7, 11, 12, 13
Consumo eléctrico por área climatizada anual	82.98 kWh/m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por alumno anual	302 Pesos/alumno/año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por área climatizada anual	155 Pesos/m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
GEI emitidos por alumno anual	73.6 kg/ GEI/m <sup>2</sup> /año	11, 12, 13, 7
GEI emitidos por área climatizada anual	43.5 kg/ GEI/m <sup>2</sup> /año	11, 12, 13, 7
Satisfacción de los alumnos con el confort térmico	---	4

Satisfacción de los docentes con el confort térmico	3.4	8
---	-----	---

El indicador de la satisfacción de los docentes del edificio con el confort térmico da respuesta a la cuarta hipótesis de la investigación, la cual es “Los ocupantes del edificio no se encuentran satisfechos con el confort térmico”. Dicha hipótesis se acepta para los docentes. Es importante mencionar que esta escuela cerró en el transcurso de la investigación, por lo que no fue posible realizar la aplicación de las encuestas a sus alumnos.

### 5.1.2.3 Escuela 3

Turno: Matutino

No. de salones de grupos: 12

No. de grupos totales: 15

No. alumnos: 266

Tipo de tarifa: GDMTH

*Ajustada: GDMTO*

Características constructivas:

16 salones en uso totales, 12 considerados de grupo y 4 de no grupo (dirección, USAER, cooperativa y desayunador). Techo de losa de concreto, muros de ladrillo de 4 pulgadas y block de 6 pulgadas, etc.

*Tabla 5.11. Equipos usados en la escuela con su respectiva demanda, cantidad y horas a la semana utilizados en la Escuela 3.*

Equipo	Demanda (W)	Cantidad	Horas/semana
Dirección Módem	10	1	20
Laptop	75	2	10
Impresora 1	28	1	3.33
Impresora 2	100	1	15
Cafetera	1100	1	20
COOP Micro	1200	1	.42
Licuadaora	400	1	.17
Crock Pot	250	1	10
Plancha 1	1100	1	5
Ventilador	80	1	20
Plancha 2	1100	1	6.67

Abanico torre	80	1	20
Abanico techo	60	1	20
Laptop	45	1	2.5
Laptop	65	1	2.5
Dispensador agua	140	7	168
Cañón	200	1	5
Computadora	420	1	20
Micro	950	1	.17
Horno	1000	1	.33
Cafetera	1100	1	20

Tabla 5.12. Variables que caracterizan el desempeño energético de la Escuela 3, con su descripción, valores y unidades, así como los ODS que se relacionan.

Variables	Descripción de variables	Valor	ODS relacionado
Alumnos	No. de alumnos	266 (Ajustado: 28 alumnos por grupo)	--
Ambiental	GEI emitidos por la escuela anualmente	22.66 Ton GEI/año	11, 12, 13, 7
	Enseñanza de medio ambiente y sostenibilidad	4.66	4, 11, 12, 13
	Conocimiento de los ODS	2.88	4, 11, 12, 13
Área climatizada	Metros cuadrados climatizados	741 m <sup>2</sup>	11, 12, 13
Capacidad de enfriamiento	Capacidad de enfriamiento promedio por salón de grupo	3.8 ton/salón	11, 12, 13
	Capacidad instalada total	63.5 Ton (Ajustado 61.5 Ton)	11, 12, 13
Clima organizacional	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de alumnos	4.16	4

	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de docentes	2.17	8
Consumo eléctrico	Consumo eléctrico anual	43,240 kWh/año	7, 11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del alumno	4.34	11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del docente	3.83	11, 12, 13
Económico	Facturación anual	\$93,560.2 Pesos/año	7, 11, 12, 13
	Precio medio kWh	2.16 Pesos/kWh	7, 11, 12, 13
Salones	No. de salones de grupo	12	--
	No. de salones totales	16	--
Sistemas A.A.	Dimensionamiento adecuado de los sistemas de A.A.	132.29%	4, 8, 12
	Porcentaje de número de sistemas de A.A. que cumplen con la eficiencia requerida	6%	4, 7, 8, 9
	Promedio de eficiencia de sistemas de A.A.	10 (Ajustado: 7.96)	7, 9
Potencia de iluminación	Demanda de iluminación instalada	4.665 kW (Ajustado: 3.6 kW)	7, 11, 12, 13

La Tabla 5.12 caracteriza la Escuela 3, de acuerdo con las diferentes variables que abarcan el ámbito de capacidad y características del sistema de A.A., potencia de iluminación, consumo eléctrico, facturación y ambiental. También, se puede observar como el dimensionamiento para los sistemas de A.A. es mayor a 100%, lo que indica un sobredimensionamiento. Además de mostrar una eficiencia de éstos menor a lo que la NOM-011-ENER-2006 y la NOM-023-ENER-2018 indican debe de ser

Tabla 5.13. Indicadores de desempeño energético de la Escuela 3.

Indicadores	Unidades	ODS relacionado
Consumo eléctrico por alumno anual	162.6 kWh/alumno/año	7, 11, 12, 13
Consumo eléctrico por área climatizada anual	58.4 kWh/ m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por alumno anual	351.7 Pesos/alumno/año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por área climatizada anual	126.3 Pesos/m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
GEI emitidos por alumno anual	85.2 kg GEI/alumno/año	11, 12, 13, 7
GEI emitidos por área climatizada anual	30.5 kg GEI/m <sup>2</sup> /año	11, 12, 13, 7
Satisfacción de los alumnos con el confort térmico	4.4	4
Satisfacción de los docentes con el confort térmico	3	8

En los indicadores encontrados en la Tabla 5.13, se puede observar que la satisfacción con el confort térmico de los alumnos es mayor que la de los docentes, indicando una adaptación más fácil al clima por parte de éstos. Este último resultado da respuesta a la cuarta hipótesis de la investigación, la cual es “Los ocupantes del edificio no se encuentran satisfechos con el confort térmico”. Dicha hipótesis se rechaza para los alumnos pertenecientes a dicho plantel y *se acepta para los docentes*.

#### 5.1.2.4 Escuela 4

Turno: Mixto (matutino y vespertino)

No. de salones de grupo: 12

No. de grupos totales: 15

No. alumnos: 580

Tipo de tarifa: GDMTO

Características constructivas:

16 salones en uso totales, 12 considerados de grupo y 4 de no grupo (dirección matutina, vespertina, USAER y biblioteca). Techo de losa de concreto sin aislamiento, muros de

ladrillo y block de 6 pulgadas sin aislamiento, película reflectiva en algunas ventanas, etc.

*Tabla 5.14. Equipos usados en la escuela con su respectiva demanda, cantidad y horas a la semana utilizados en la Escuela 4.*

Equipo	Demanda (W)	Cantidad	Horas/semana
Impresora 1	75	2	5
Abanico	80	7	20
Microondas	1000	1	.125
Braul	100	1	2
Impresora 2	1200	1	5
Cafetera 1	1000	1	20
Computadora	560	3	20
Módem	10	1	20
Estéreo	900	1	2
Radio	14	1	2
Micro	1150	1	.355
Impresora 3	1440	1	5
Impresora 4	200	7	5
Módem	10	1	20
Abanico	80	1	20
Laptop	45	1	5
Proyector 1	200	2	10
Proyector 2	150	1	10
Laptop	45	2	5
Abanico chico	40	1	20
Cafetera	1000	1	20
Refrigerador 1	500	2	168
Refrigerador 2	300	1	168
Freezer	150	3	168

*Tabla 5.15. Variables que caracterizan el desempeño energético de la Escuela 4, con su descripción, valores y unidades, así como los ODS que se relacionan.*

Variables	Descripción de variables	Valor	ODS relacionado
Alumnos	No. de alumnos	580 (Ajustado: 28 alumnos por grupo)	--

Ambiental	GEI emitidos por la escuela anualmente	49.54 ton GEI/año	11, 12, 13, 7
	Enseñanza de medio ambiente y sostenibilidad	4.51	4, 11, 12, 13
	Conocimiento de los ODS	2.91	4, 11, 12, 13
Área climatizada	Metros cuadrados climatizados	739.4 m <sup>2</sup>	11, 12, 13
Capacidad de enfriamiento	Capacidad de enfriamiento promedio por salón de grupo	3.81 ton/salón	11, 12, 13
	Capacidad instalada total	56.8 Ton	11, 12, 13
Clima organizacional	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de alumnos	4.03	4
	Nivel de conformidad de las autoridades en materia energética por parte de docentes	2.27	8
Consumo eléctrico	Consumo eléctrico anual	94,000 kWh/año	7, 11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del alumno	3.87	11, 12, 13
	Nivel de conocimiento de plan energético por parte del docente	3.73	11, 12, 13
Económico	Facturación anual	\$181,197.13 Pesos/año	7, 11, 12, 13
	Precio medio kWh	1.93 Pesos/kWh	7, 11, 12, 13
Salones	No. de salones de grupo	12	--
	No. de salones totales	16	--
Sistemas A.A.	Dimensionamiento adecuado de los sistemas de A.A.	101.43%	4, 8, 12

	Porcentaje de número de sistemas de A.A. que cumplen con la eficiencia requerida	0%	4, 7, 8, 9
	Promedio de eficiencia de sistemas de A.A.	9.41 (Ajustado: 8.07)	7, 9
Potencia de iluminación	Demanda de iluminación instalada	5.166 kW (Ajustada: 3.65 kW)	7, 11, 12, 13

La Tabla 5.15 caracteriza la Escuela 4 de acuerdo a diferentes variables que abarcan el ámbito de capacidad y características del sistema de A.A., potencia de iluminación, consumo eléctrico, facturación y ambiental. Se puede observar como el dimensionamiento para los sistemas de A.A. es ligeramente mayor a 100%. A pesar de que lo anterior indicaría un correcto dimensionamiento de los sistemas de A.A., no lo es. Como caso particular de esta escuela, algunos de sus sistemas de A.A. se encuentran subdimensionados, lo cual provoca que se genere una compensación de los valores altos y bajos de la capacidad que deberían de ser, y genera un promedio cercano al valor ideal de 100%. Además de mostrar una eficiencia de éstos menor a lo que la NOM-011-ENER-2006 y la NOM-023-ENER-2018 indican debe de ser.

*Tabla 5.16. Indicadores de desempeño energético de la Escuela 4.*

Indicadores	Unidades	ODS relacionado
Consumo eléctrico por alumno anual	162.07 kWh/alumno/año	7, 11, 12, 13
Consumo eléctrico por área climatizada anual	127.13 kWh/ m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por alumno anual	312.4 Pesos/alumno/año	7, 11, 12, 13
Costo eléctrico por área climatizada anual	245 Pesos/m <sup>2</sup> /año	7, 11, 12, 13
GEI emitidos por alumno anual	85.4 kg GEI/alumno/año	11, 12, 13, 7
GEI emitidos por área climatizada anual	67 kg GEI/m <sup>2</sup> /año	11, 12, 13, 7

Satisfacción de los alumnos con el confort térmico	4.59	4
Satisfacción de los docentes con el confort térmico	3	8

En los indicadores encontrados en la Tabla 5.16, se observa que la satisfacción con el confort térmico de los alumnos es mayor que la de los docentes, indicando una adaptación más fácil al clima por parte de éstos. Este último resultado da respuesta a la cuarta hipótesis de la investigación, la cual es “Los ocupantes del edificio no se encuentran satisfechos con el confort térmico”. Dicha hipótesis se rechaza para los alumnos pertenecientes a dicho plantel y *se acepta para los docentes*.

### 5.1.3 Registros de formatos y encuestas contestadas

Se presenta un ejemplo de los formatos contestados para recabar la información de características constructivas, comportamiento energético y levantamiento de cargas y luminarias.

Características constructivas

Salón: 1ero

Orientación muros

	Longitud (m)	Altura (m)	Área ventanas (m <sup>2</sup> )	Área puertas (m <sup>2</sup> )	Asoleamiento directo	Pared interior	Tipo de muro
Norte	5.90	2.70	5.32	-	Si	No	Ext
Sur	5.90	2.70	5.32	1.9	No	No	Ext
Este	2.87	3.15	-	-	No	Si	Int
Oeste	2.87	3.15	-	-	No	Si	Int

Tipo de construcción: Una sola planta

Capacidad A/C instalada: 3.9 Área climatizada: 45 m<sup>2</sup> Factor de uso: pte H: 6-12pm 77°F=T

Ubicación	Tipo	Marca	Capacidad (Btu/hr)	Potencia (W)	EER (Btu/W hr)	Refrigerante		Operación hrs/año	Ant.
						Tipo	Cantidad (kg)		
Norte	Resete	(april)	47000	1381W	11.5	R-410A	-	pte	2014

Muros

Norte	Sur	Este	Oeste
Material principal: <u>Block</u>	Material principal: <u>✓</u>	Material principal: <u>✓</u>	Material principal: <u>✓</u>
Espesor: <u>6</u> (in/cm)	Espesor: <u>✓</u> (in/cm)	Espesor: <u>✓</u> (in/cm)	Espesor: <u>✓</u> (in/cm)
Otros materiales:	Otros materiales:	Otros materiales:	Otros materiales:
Aislamiento: -	Aislamiento: -	Aislamiento: -	Aislamiento: -
Espesor: (in/cm)	Espesor: (in/cm)	Espesor: (in/cm)	Espesor: (in/cm)

Techo

¿Color oscuro?	¿Color aluminio?	¿Pintura reflectiva?	¿Planta baja o intermedia?	¿Película reflectiva en ventanas?	¿Hay buen sellado de puertas y ventanas?
<u>No</u>	<u>No</u>	<u>Si</u>	<u>No</u>	<u>Si</u>	<u>No</u>

Figura 5.2. Ejemplo registro características escuelas.

Características constructivas

Tipo de techo: Techo de lámina con aislamiento  
 Características del techo  
 Material principal: Lámina  
 Condiciones y materiales adicionales:  
 Tipo de aislamiento: Poliuretano Espesor (poliestireno/poliuretano): 2 (in/cm)

Motores

ID	V	I	W	RPM	Marca	Modelo	Horas/año	eficiencia	antigüedad

Bombeo

Equipo de bombeo										Motor				Horas	Aplicación
ID	Marca	Modelo	Tipo	Tamaño	No. serie	Presión max	HP	Gasto	Carga	RPM	HP	V	A		

Luminarias

Modelo: Philips Demanda: 18w No. Focos: 9 / 10 Horario: 8-12 pm Tipo: LED

Ocupantes: 35 Horario: 8-12

Equipos:	Demanda:	Uso:	Nota adicional:
<u>Laptop</u>	<u>45 w</u>	<u>-</u>	
<u>Router</u>	<u>54 w</u>	<u>24 hrs</u>	

Notas adicionales:

Figura 5.3. Ejemplo registro características escuelas (continuación).

Para la construcción de algunos indicadores, es necesaria la aplicación de encuestas a los ocupantes del edificio. Se menciona que no todos los ítems fueron empleados para construir los indicadores. A continuación, se encuentran encuestas respondidas por una alumna y docente.

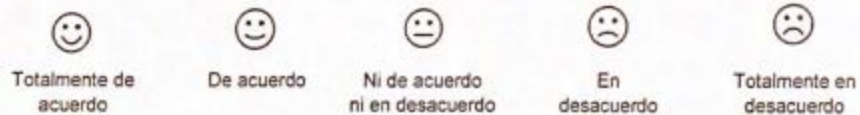
Escuela: Primaria Gabriela Mistral Grupo: 6-1A Género: Mujer

Buenas tardes, mi nombre es Ada Josefina Ordaz, soy estudiante de posgrado en la Universidad Autónoma de Baja California, actualmente me encuentro desarrollando el proyecto de maestría "Evaluación del desempeño energético y sostenibilidad de un centro de educación de nivel básico, así como su impacto al implementar un Sistema de Gestión de la Energía en la ciudad de Mexicali, B.C.", para lo cual contar con tu valioso apoyo sería de mucha ayuda para realizar esta investigación, por lo anterior te pido contestar las siguientes preguntas de la manera más honesta.

Agradezco mucho tu tiempo y participación en esta fase del proyecto.

INSTRUCCIONES: Encierra la carita con la que te identifiques más.

**Opinión:**



¿La dirección de tu escuela implementa acciones de ahorro energético en tu escuela?



¿Crees que a las autoridades educativas (SEP, gobierno) les preocupa tu bienestar y confort térmico (que no tengas calor ni frío) dentro del salón de clases?



¿El sistema de A.C. se encuentra prendido cuando tienes calor?



¿Se les da instrucciones de ahorrar energía para ahorrar dinero en la escuela?



¿Tu maestro te enseña sobre ahorrar energía en el salón?



¿Opinas que los aparatos que consumen electricidad (luz) en tu salón son nuevos, tecnológicos, modernos?



Figura 5.4. Ejemplo encuesta respondida por una alumna.

¿Estás contento con el sistema de A.C. de tu salón?

☺ ☺ ☹ ☹ ☹

¿Tu maestro te enseña sobre el medio ambiente y sostenibilidad?

☺ ☹ ☹ ☹ ☹

¿Qué tanto conoces sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible?

☺ ☺ ☹ ☹ ☹

¿Crees que si ahorras energía en tu salón ayudarás al medio ambiente?

☺ ☺ ☹ ☹ ☹

¿Te interesas por el medio ambiente?

☹ ☺ ☹ ☹ ☹

¿Sientes calor estando en tu salón de clases?

☺ ☺ ☹ ☹ ☹

¿Opinas que el calor hace que estés menos cómodo en tu salón?

☺ ☺ ☹ ☹ ☹

Algún comentario que desees mencionar:

No

---



---



---



---



---



---



---

¡Gracias por tu apoyo!

Figura 5.5. Ejemplo encuesta respondida por una alumna (continuación).

Buenas tardes, mi nombre es Ada Josefina Ordaz, soy estudiante de posgrado en la Universidad Autónoma de Baja California, actualmente me encuentro desarrollando el proyecto de maestría "Evaluación del desempeño energético y sostenibilidad de un centro de educación de nivel básico, así como su impacto al implementar un Sistema de Gestión de la Energía en la ciudad de Mexicali, B.C.", para lo cual contar con su valioso apoyo sería de mucha ayuda para realizar esta investigación, por lo anterior le pido contestar las siguientes preguntas de la manera más honesta.

Agradezco mucho su tiempo y participación en esta fase del proyecto.

INSTRUCCIONES: Subraye la respuesta con la que se sienta más cómodo.

### Política

¿Considera que la dirección implementa políticas para ahorro energético?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Considera que la dirección implementa políticas para el desarrollo sostenible?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Considera que el acercamiento de organizaciones de la ciudad (Universidades, fundaciones, etc.) al centro educativo para realizar proyectos de vinculación puede llegar a ayudar al desempeño energético del centro?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Considera que a las autoridades (SEP, Instituto de la Infraestructura Física educativa) les interesa la eficiencia energética de la escuela?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Opina que las autoridades (SEP, Inife) le dan buen mantenimiento a la infraestructura de la escuela?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Opina que las autoridades (SEP, Inife) se preocupan porque los ocupantes del edificio tengan un nivel satisfactorio de confort térmico (sensación que experimentan las personas cuando no sienten ni frío ni calor respecto al ambiente)?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Desarrolla planes para el ahorro energético del salón?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Promueve acciones dentro de su salón/escuela para ahorro energético?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Si respondió sí, adapta el uso de equipos que consuman energía en su salón de clases?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Conoce cómo funciona el sistema tarifario de su escuela?

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Considera que, si se ahorra energía, se podría utilizar el recurso destinado al pago de éste para otras áreas o ámbitos del centro educativo?

Figura 5.6. Ejemplo encuesta respondida por una docente.

Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Opina que el equipo (aparatos) del salón de clases se encuentra en buen estado?  
Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Está satisfecho con el estado y funcionamiento del sistema de A.C. de su salón de clases?  
Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Opina que las autoridades educativas (SEP, Inife) abastecen los salones con equipos eficientes?  
Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Implementa planes de aprendizaje relacionados al cuidado del medio ambiente?  
Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Les enseña a sus alumnos sobre la sostenibilidad?  
Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Les ha hablado a sus alumnos sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible?  
Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

¿Cuál es su nivel de satisfacción con el confort térmico dentro del salón de clases?  
Muy satisfactorio – satisfactorio – neutral – malo – muy malo

¿Considera que debido al calentamiento global es más difícil garantizar la satisfacción del confort térmico?  
Completamente de acuerdo – de acuerdo – neutral – en desacuerdo – completamente en desacuerdo

Algún comentario que desee mencionar:

Las Autoridades Educativas NO ABASTOCAN  
NI ARREGLAN LOS DEFECTOS DE LAS INSTALACIONES -  
COMO CASO: LAMPARAS, VENTANA,  
REFRIGERACIONAL, PUERTAS, PISCAS QUE MEJORAN  
EL CONFORT DE LOS ALUMNOS Y MAESTROS,  
A SU VEZ SE AHORRA ENERGIA ELECTRICA  
DE LA COMUNIDAD ESCOLAR.

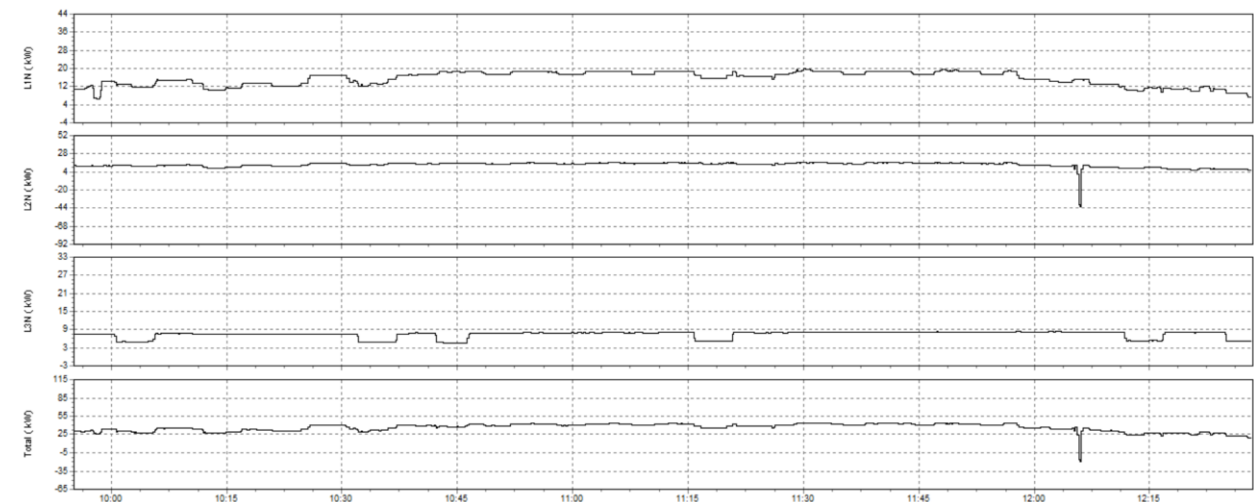
Figura 5.7. Ejemplo encuesta respondida por una docente (continuación).

#### 5.1.4 Mediciones puntuales con analizador de redes

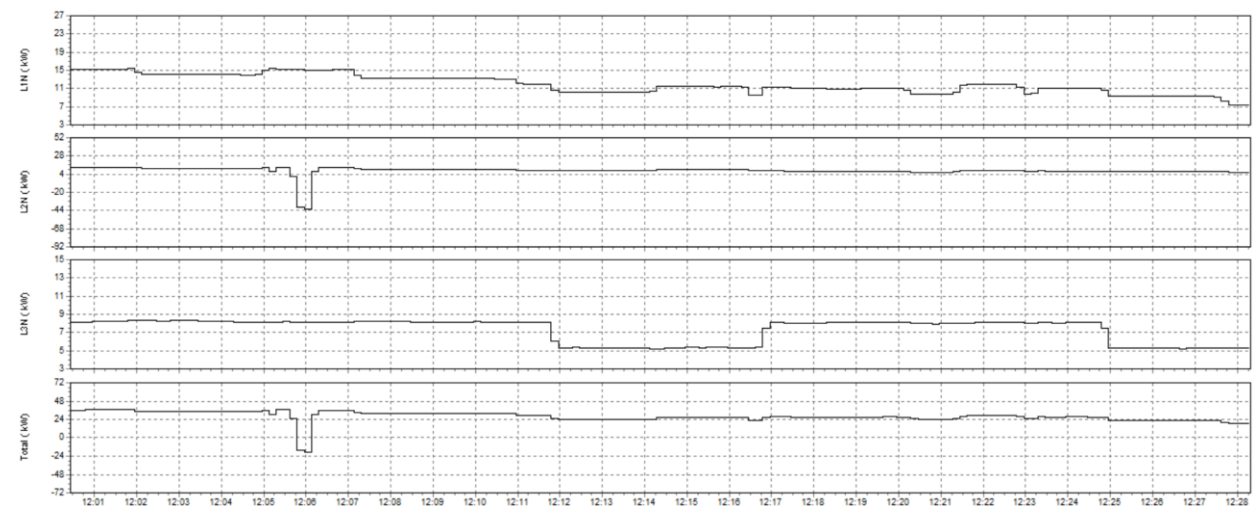
Como parte de las actividades señaladas en la sección metodológica, a continuación, se encuentran los resultados de la toma de mediciones con el analizador de redes al centro de carga principal de cada escuela. El lapso de medición se encuentra dentro de los horarios de clases, a excepción de la Escuela 4, cuyo lapso de medición fue después del horario de clases, y de la Escuela 2, escuela que cerró durante la realización de este proyecto, y cuya medición con el analizador de redes no fue posible realizar. El propósito de dicha medición es el corroborar los datos recabados en la toma de mediciones.

#### 5.1.4.1 Escuela 1

Se encuentra en las Figuras 5.8 y 5.9 la medición de la potencia eléctrica de la Escuela 1, dentro del horario de alrededor de las 10 am a 12 pm.



*Figura 5.8. Medición completa de la potencia eléctrica de la Escuela 1.*



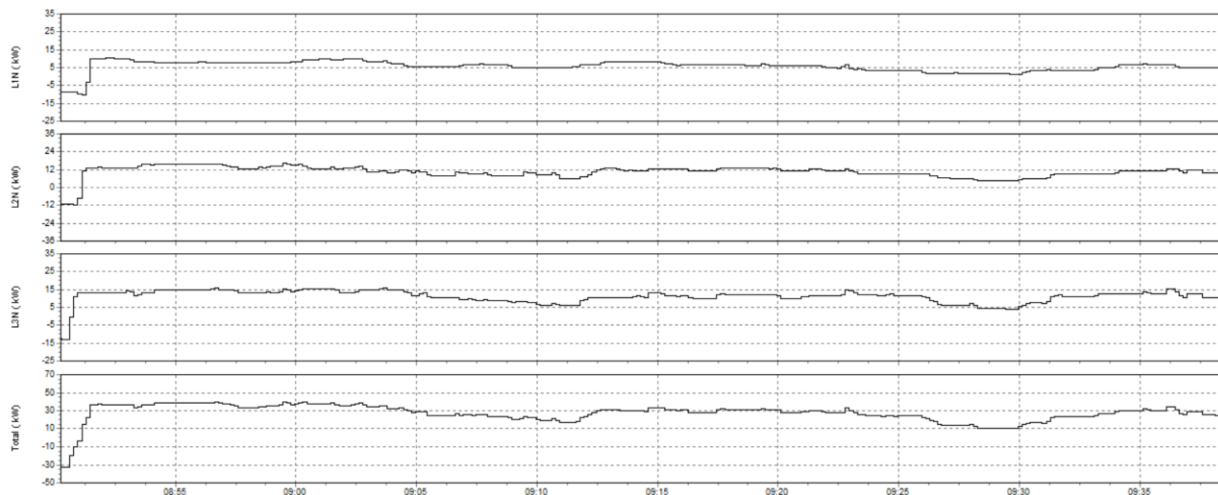
*Figura 5.9. Medición parcial de la potencia eléctrica de la Escuela 1.*

En la Figura 5.8, dentro de la medición total, la cual se lleva a cabo dentro del horario de clases, cuyo comportamiento se considera como típico, se observa que la demanda promedio se encuentra dentro del rango de los 25 kW a los 35 kW. Esto corresponde alrededor de la suma de los equipos recabados en el levantamiento de cargas y luminarias. No es la cantidad exacta debido a que no todos los compresores de los sistemas de A.A. se encontraba encendidos al mismo momento. En la Figura 5.9, cuya

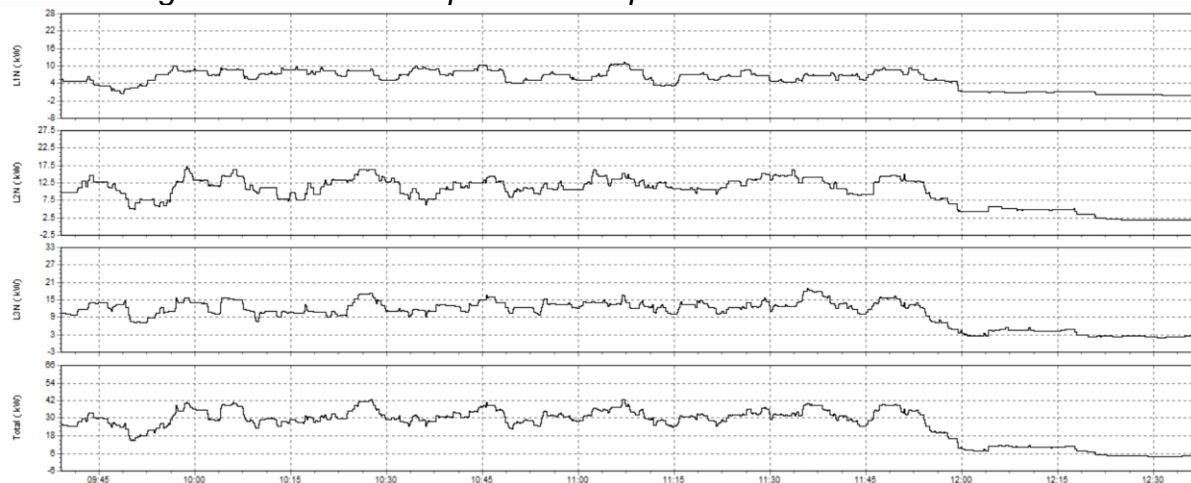
medición corresponde al transcurso del medio día hasta la finalización de la toma de mediciones, las 12.30 p.m., se observa una disminución gradual de la demanda, indicando que los aparatos de A.A. sí son apagados por los docentes, o por intendencia en el lapso de terminación de su jornada laboral. También es importante mencionar que el horario de dirección termina después que el de los alumnos, dando lugar a la demanda de alrededor de 15 kW a las 12:28, por los equipos utilizados en dirección, así como las refrigeraciones pendientes de apagar por intendencia.

### 5.1.4.2 Escuela 3

Se encuentra en las Figuras 5.10 y 5.11 la medición de la potencia eléctrica de la Escuela 3, dentro del horario de alrededor de las 8:50 am a 12:30 pm.



*Figura 5.10. Medición parcial de la potencia eléctrica de la Escuela 3.*

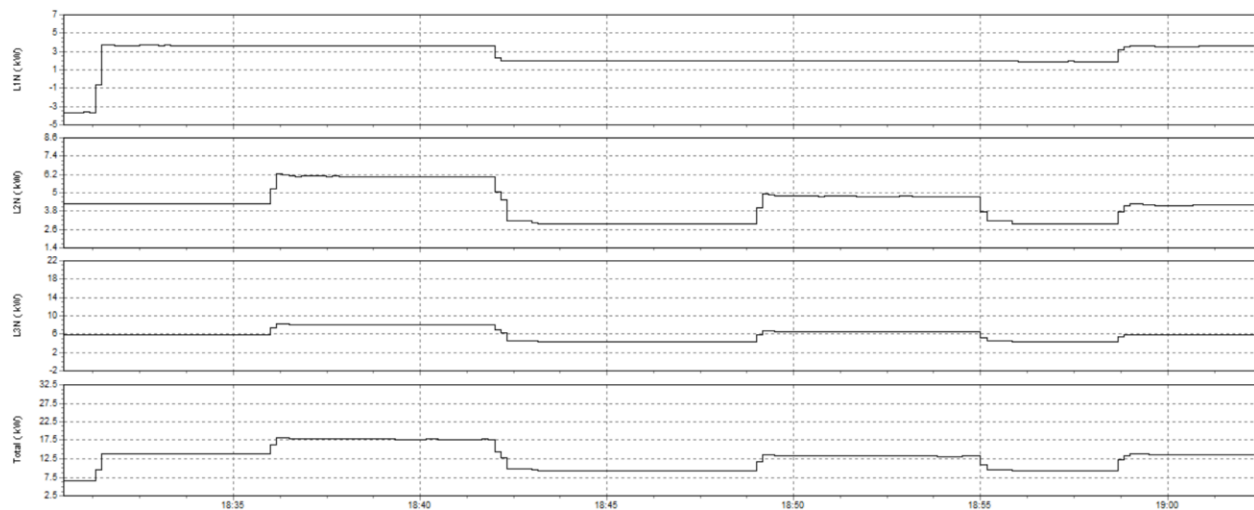


*Figura 5.11. Medición parcial de la potencia eléctrica de la Escuela 3 (continuación).*

Se identifican las cargas encendidas en ese momento y se compara con lo medido por el analizador de redes, coincidiendo con lo recabado. Al final de la medición, la cual coincide con la hora de salida, se observa una disminución pronunciada de la demanda, indicando el correcto apagado de los sistemas de A.A. señalado por los docentes.

#### 5.1.4.3 Escuela 4

Se encuentra en la figura la medición de la potencia eléctrica de la Escuela 4, dentro del horario de las 6:30 pm a las 7:02 pm.



*Figura 5.12. Medición de la potencia eléctrica completa de la Escuela 4*

Por motivos ajenos a la investigación, sólo fue posible realizar la medición en el periodo mencionado. Como la medición no se encuentra dentro del horario normal de clases, en el transcurso de su realización, las cargas encendidas en ese momento son identificadas para comprobar con los resultados arrojados por el analizador de cargas.

## 5.2 Simulación térmica y eléctrica de las escuelas

En lo referente a las simulaciones del comportamiento energético de las escuelas primarias, se maneja un rango de error del  $\pm 5\%$  en los resultados del simulador de cargas térmicas. En las Tablas 5.17, 5.19, 5.21 y 5.23 se encuentra el consumo real contra el simulado, el error mensual y anual y el consumo ajustado, y en las Tablas 5.18, 5.20, 5.22 y 5.24 se encuentra el consumo real y simulado de la temporada de verano, así como el índice de correlación de Spearman del consumo simulado y real de cada

escuela. En las Figuras 5.13, 5.14, 5.15, y 5.16 se encuentran gráficas que ilustran los consumos de las tablas mencionadas. Es importante mencionar que el consumo ajustado se refiere al consumo eléctrico resultante de estandarizar las características de las escuelas para posteriormente poder evaluar las AMDEn y el ahorro que representan en el consumo eléctrico de una manera proporcional, debido a que algunas escuelas ya contaban con algunas AMDEn. Se trabaja con éste para el análisis de los resultados.

En la Tabla 5.17 se encuentra el consumo eléctrico real, simulado y porcentaje de error entre ambos, perteneciente a la Escuela 1.

*Tabla 5.17. Consumo real vs simulado con error y ajustado de la Escuela 1.*

Mes	Consumo simulado (kWh)	Consumo real (kWh)	Error	Consumo ajustado (kWh)
Enero	1,276	1,296	2%	1,168
Febrero	1,018	1,024	1%	904
Marzo	976	945	-3%	976
Abril	825	803	-3%	934
Mayo	1,514	1,418	-7%	1,901
Junio	2,426	2,457	1%	3,552
Julio	827	807	-3%	1,073
Agosto	3,074	3,030	-1%	4,689
Septiembre	4,129	4,094	-1%	6,594
Octubre	1,717	1,640	-5%	2,399
Noviembre	1,038	1,085	4%	1,134
Diciembre	986	1,052	6%	896
Total	19,807	19,651	-1%	26,220

Tabla 5.18. Consumo simulado, real y error de verano e índice de correlación anual Escuela 1.

Simulado verano	Real verano	Error
13,688	13,446	-2%
Índice de correlación Spearman (anual)		.993

En las Tablas 5.17 y 5.18 se observan porcentajes de error mínimos, estando la mayoría de los meses, así como el consumo anual y de temporada de invierno, en el rango de  $\pm 5\%$ . Se observan porcentajes de error positivos en los meses de invierno y negativos en los meses de verano. Lo que indica que en invierno se consume más energía que la señalada en la toma de datos y medidas y en los meses de verano se consume menos que lo indicado. Es importante mencionar que el porcentaje de error, así como el índice de correlación, se refieren al consumo simulado (con las características reales de la escuela) con relación al consumo real.

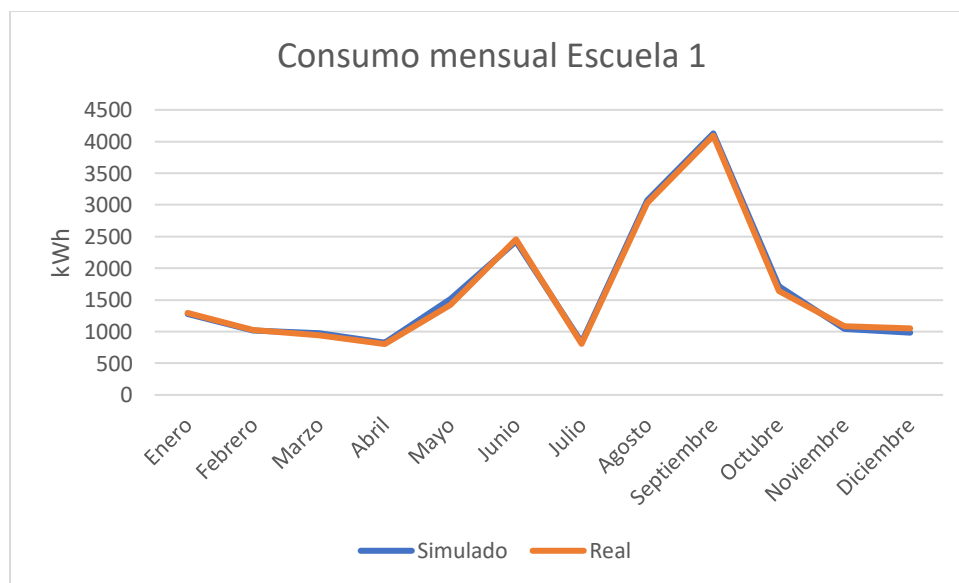


Figura 5.13. Consumo real vs simulado de la Escuela 1.

En la Figura 5.13 se observa lo mencionado anteriormente de manera gráfica, como esta escuela posee porcentajes de error dentro del rango de  $\pm 5\%$ .

La Tabla 5.19 contiene el consumo eléctrico simulado, real y el porcentaje de error entre ambos perteneciente a la Escuela 2.

*Tabla 5.19. Consumo real vs simulado con error y ajustado de la Escuela 2.*

Mes	Consumo simulado (kWh)	Consumo real (kWh)	Error	Consumo ajustado (kWh)
Enero	1,280	1,280	0%	1,528
Febrero	1,035	1,080	4%	1,307
Marzo	1,130	1,200	6%	1,417
Abril	1,377	1,360	-1%	1,530
Mayo	2,450	2,440	0%	4,601
Junio	4,772	4,760	0%	10,333
Julio	976	960	-2%	1,339
Agosto	7,727	7,680	-1%	16,790
Septiembre	6,431	6,400	0%	14,061
Octubre	2,078	2,000	-4%	3,370
Noviembre	1,087	1,160	6%	1,364
Diciembre	916	880	-4%	1,118
Total	31,261	31,200	0%	58,760

*Tabla 5.20. Consumo simulado, real y error de verano e índice de correlación anual de Escuela 2.*

Simulado verano (kWh)	Real verano (kWh)	Error
24,434.72	24,240	-1%
Índice de correlación Spearman (anual)	1	

Se observan como hay porcentajes de error tanto positivos como negativos en los meses de invierno y verano, lo que indica un comportamiento energético del edificio más homogéneo a lo largo del año, lo cual se observa en el consumo eléctrico anual, así como en el de los meses de verano.

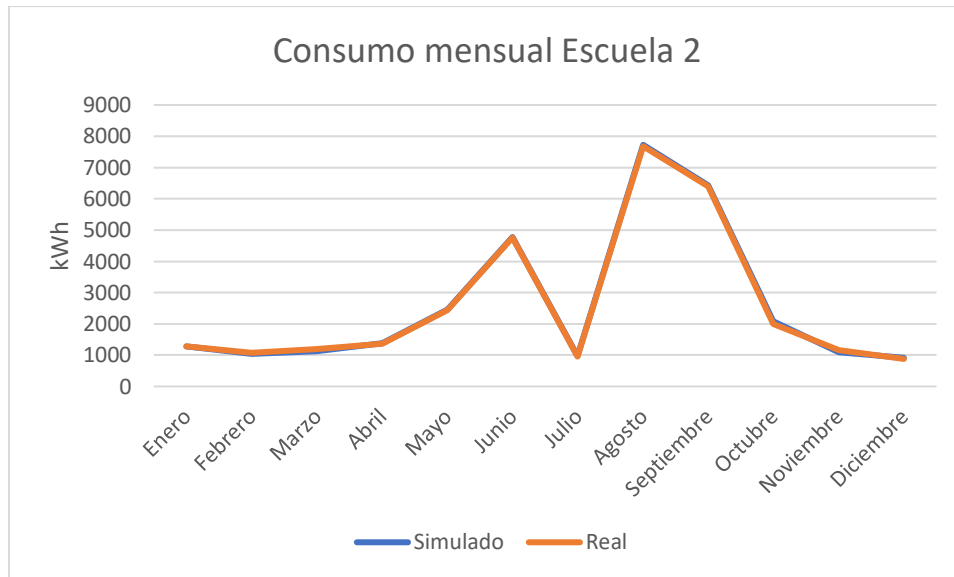


Figura 5.14. Consumo real vs simulado de la Escuela 2.

En la Figura 5.14 se observa lo mencionado anteriormente de manera gráfica, como esta escuela posee porcentajes de error dentro del rango de  $\pm 5\%$ .

La Tabla 5.21 contiene el consumo eléctrico simulado, real y el porcentaje de error entre ambos perteneciente a la Escuela 3.

Tabla 5.21. Consumo real vs generado con error y ajustado de la Escuela 3.

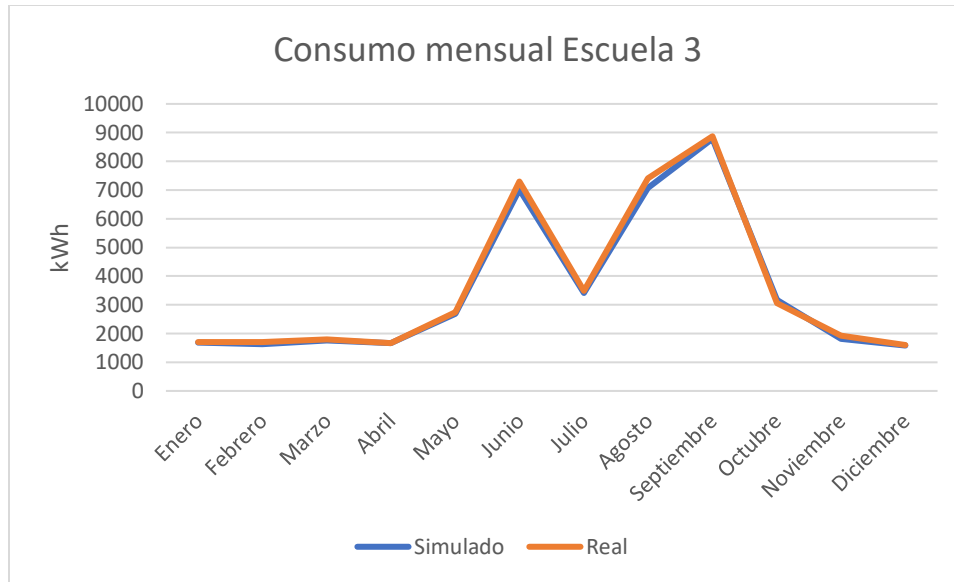
Mes	Consumo simulado (kWh)	Consumo real (kWh)	Error	Consumo ajustado (kWh)
Enero	1,689	1,696	0%	1,428
Febrero	1,624	1,696	4%	1,387
Marzo	1,767	1,792	1%	1,505
Abril	1,666	1,672	0%	1,408
Mayo	2,689	2,744	2%	2,916

Junio	7,018	7,304	4%	9,901
Julio	3,411	3,480	2%	4,468
Agosto	7,067	7,408	5%	10,014
Septiembre	8,786	8,872	1%	12,806
Octubre	3,177	3,056	-4%	3,640
Noviembre	1,813	1,920	6%	2,000
Diciembre	1,582	1,600	1%	1,322
Total	42,288	43,240	2%	52,796

*Tabla 5.22. Consumo simulado, real y error de verano e índice de correlación anual de Escuela 3.*

Simulado verano (kWh)	Real verano (kWh)	Error
32,147.07	32,864	2%
Índice de correlación Spearman (anual)		.988

Se observan principalmente porcentajes de error positivos, lo que indica que el consumo real es mayor a lo recabado a la toma de datos y mediciones.



*Figura 5.15. Consumo real vs simulado de la Escuela 3.*

En la Figura 5.15 se observa lo mencionado anteriormente de manera gráfica, como esta escuela posee porcentajes de error dentro del rango de  $\pm 5\%$ .

En la Tabla 5.23 se encuentra el consumo eléctrico real, simulado y porcentaje de error entre ambos, perteneciente a la Escuela 4.

*Tabla 5.23. Consumo real vs generado con error y simulado de la Escuela 4.*

Mes	Consumo simulado (kWh)	Consumo real (kWh)	Error	Consumo ajustado (kWh)
Enero	2,859	3,213	11%	1,728
Febrero	2,793	2,751	-2%	1,771
Marzo	3,030	3,231	6%	1,898
Abril	34,178	3,483	2%	2,323
Mayo	9,989	10,480	5%	10,054
Junio	15,585	16,000	3%	17,467
Julio	7,303	7,120	-3%	6,171
Agosto	11,829	11,440	-3%	12,249
Septiembre	20,580	20,640	0%	23,808

Octubre	11,626	11,520	-1%	12,235
Noviembre	3,566	3,680	3%	2,535
Diciembre	3,644	3,520	-4%	2,512
Total	96,222	97,078	1%	94,751

Tabla 5.24. Consumo simulado, real y error de verano e índice de correlación anual de Escuela 4.

Simulado verano (kWh)	Real verano (kWh)	Error
76,911.91	77,200	.37%
Índice de correlación Spearman (anual)		.986

Al igual que en la Escuela 3, se observan principalmente porcentajes de error positivos, indicando que el consumo real es mayor a lo recabado a la toma de datos.

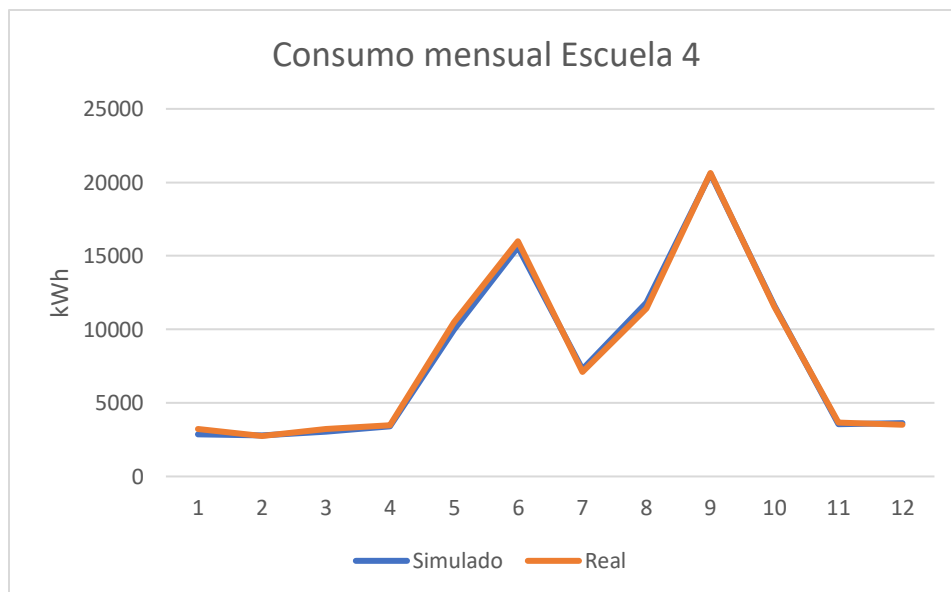


Figura 5.16. Consumo real vs simulado de la Escuela 4.

En la Figura 5.16 se observa lo mencionado anteriormente de manera gráfica, como esta escuela posee porcentajes de error dentro del rango de  $\pm 5\%$ .

### 5.3 Consumo eléctrico con aplicación de Acciones de Mejora del Desempeño Energético

Con las AMDEN establecidas, se realiza el diseño de experimentos para obtener su efecto en el consumo eléctrico, el cual consta de simularlas en cada una de las cuatro escuelas, como parte del cuarto objetivo específico: “Calcular los efectos en el consumo eléctrico al implementar AMDEN en escuelas primarias”. Dicho diseño de experimentos consta de 16 pruebas experimentales, que incluye el efecto de las cuatro AMDEN por sí solas, así como las interacciones entre éstas, combinando sus niveles bajos y altos. Se obtiene de esto el consumo eléctrico de cada escuela con su implementación.

Es importante señalar que la prueba experimental 1 es el estado actual de la escuela sin ninguna implementación de AMDEN (o en el caso de que alguna escuela ya cuente con algún escenario de implementación), se estandariza a un estado actual igual al de las demás escuelas; en la prueba experimental 2 se observa el efecto por sí solo de la implementación de reemplazo de sistemas de A.A. por más eficientes; la prueba experimental 3 señala el efecto por sí sólo de implementar AMDEN sin costo, la prueba experimental 5 el sombrear muros por sí solo, la prueba experimental 9 aislar techo y muros por sí solo y por último la prueba experimental 16 es la interacción de estas cuatro AMDEN juntas, mientras que las pruebas experimentales restantes son interacciones entre todas. Cabe mencionar que el año utilizado para las tarifas y consumo eléctrico es el del año 2019.

La Tabla 5.25 contiene los consumos eléctricos de las 16 pruebas experimentales resultantes del diseño de experimentos de AMDEN de la Escuela 1.

*Tabla 5.25. Consumo con implementación de AMDEN de la Escuela 1.*

No. de prueba experimental	Consumo eléctrico (kWh)
1	26,220
2	17,745

3	17,558
4	13,599
5	26,188
6	17,733
7	17,121
8	13,595
9	18,846
10	14,624
11	13,809
12	12,011
13	18,816
14	14,617
15	13,792
16	12,007

La Tabla 5.26 contiene los consumos eléctricos de las 16 pruebas experimentales resultantes del diseño de experimentos de AMDEn de la Escuela 2.

*Tabla 5.26. Consumo con implementación de AMDEn de la Escuela 2.*

No. de prueba experimental	Consumo eléctrico (kWh)
1	58,760
2	32,768
3	23,300
4	15,274
5	58,581
6	32,706
7	23,235
8	15,250
9	36,561
10	25,048
11	15,904
12	12,462
13	36,565
14	25,017
15	15,882
16	12,282

La Tabla 5.27 contiene los consumos eléctricos de las 16 pruebas experimentales resultantes del diseño de experimentos de AMDEn de la Escuela 3.

*Tabla 5.27. Consumo con implementación de AMDEn de la escuela 3.*

No. de prueba experimental	Consumo eléctrico (kWh)
1	52,796
2	35,001
3	26,487
4	20,613
5	52,632
6	34,919
7	26,415
8	20,506
9	39,672
10	29,334
11	21,990
12	18,822
13	39,607
14	29,299
15	21,961
16	18,806

La Tabla 5.28 contiene los consumos eléctricos de las 16 pruebas experimentales resultantes del diseño de experimentos de AMDEn de la Escuela 4.

*Tabla 5.28. Consumo con implementación de AMDEn de la Escuela 4.*

No. de prueba experimental	Consumo eléctrico (kWh)
1	94,751
2	56,829
3	29,745
4	22,946
5	94,042
6	56,444
7	29,592
8	22,861
9	67,262
10	44,183
11	24,625
12	20,622
13	66,949
14	44,019

15	24,562
16	20,588

#### 5.4 Ahorro con Acciones de Mejora del Desempeño Energético

Como se mencionó en el punto anterior, la prueba experimental 1 es el estado actual de la escuela sin ninguna implementación de AMDEn, por lo que no se presenta ningún ahorro. La prueba experimental 16 es la interacción de estas cuatro AMDEn juntas, por lo que representa el potencial de ahorro máximo. Mientras que las pruebas experimentales restantes son interacciones entre todas. Se incluyen 2 ahorros, el anual y el de periodo de verano.

En las Figuras 5.17 y 5.18 se encuentran el ahorro eléctrico y económico, respectivamente, de la Escuela 1.

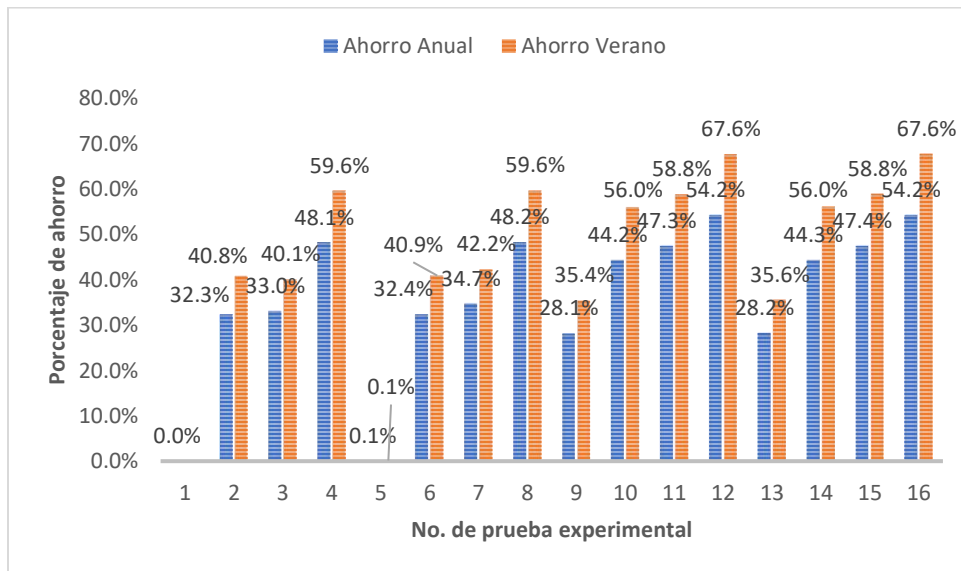
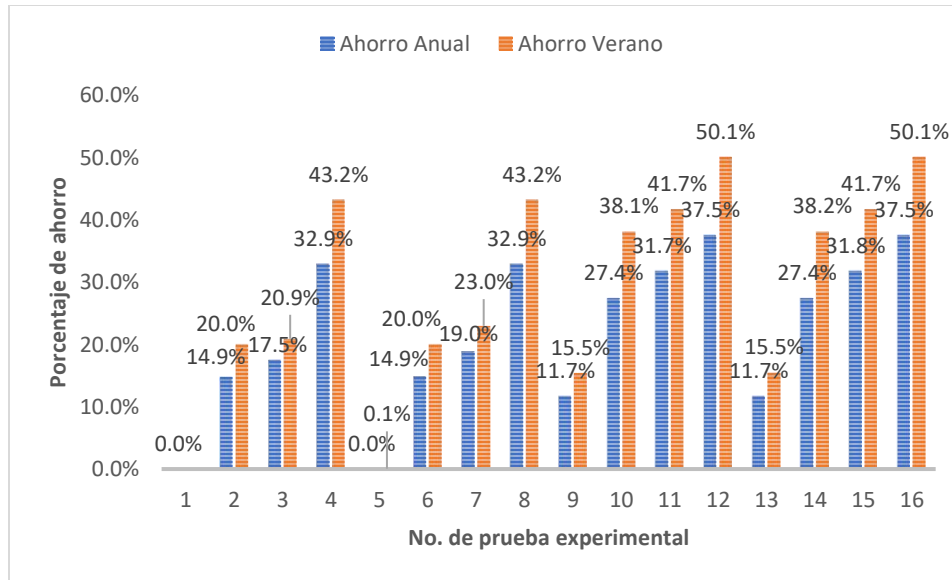


Figura 5.17. Ahorro eléctrico Escuela 1.



*Figura 5.18. Ahorro económico Escuela 1.*

Se puede observar que el ahorro en los meses de verano es mayor que el anual, lo cual se atribuye a que los planes de acción se enfocan más a las necesidades correspondientes a la temporada de verano. El potencial de ahorro máximo anual se presenta en las pruebas experimentales 4, 8, 12 y 16, las cuales corresponden a la interacción entre el factor de sustitución de sistema de A.A. y AMDEn sin costo, encontrándose las pruebas experimentales 4 y 8 sin aislamiento y las 12 y 16 con aislamiento. Además, es visible como también se presenta en estas pruebas experimentales la mayor diferencia entre el ahorro anual y de verano. Esto se debe a la interacción de las AMDEn de sustitución de sistemas de A.A. y acciones sin costo, ya que el ahorro de la primera AMDEn solo se da en los meses de verano y el ahorro de la segunda se da principalmente en dicho periodo. Este resultado termina por rechazar la hipótesis número uno, “Las AMDEn identificadas en el diagnóstico energético tienen el potencial de ahorrar hasta el 35% del consumo eléctrico anual en kWh en escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C.” ya que su potencial de ahorro máximo anual es del 55% de su consumo eléctrico en kWh. En el caso particular de esta escuela, su tarifa es la GDBT, la cual se caracteriza por contar con precios de energía más económicos que las tarifas residenciales, por lo tanto, al aplicar AMDEn que buscan reducir el consumo, su ahorro será mayor en el aspecto eléctrico que económico.

En las figuras 5.19 y 5.20 se encuentran el ahorro eléctrico y económico, respectivamente, de la Escuela 2.

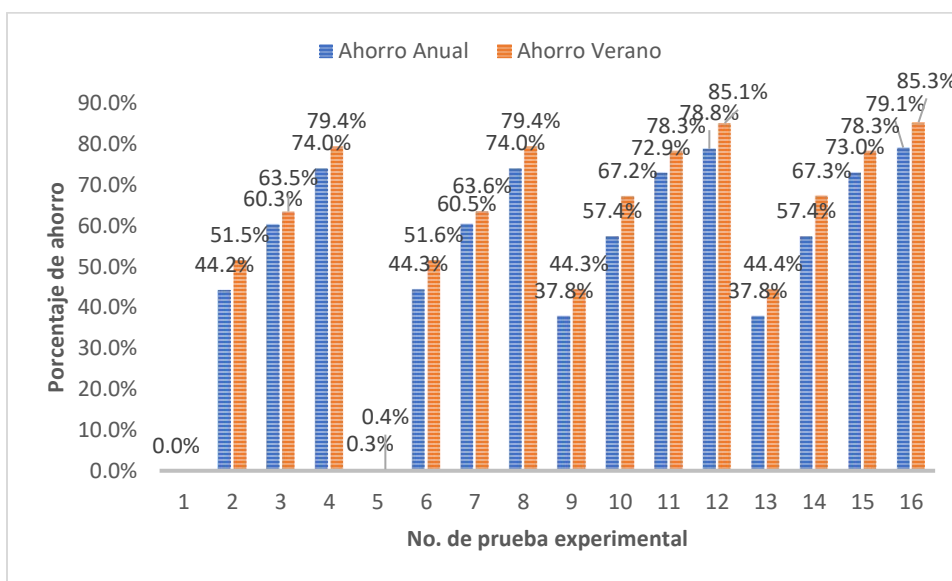


Figura 5.19. Ahorro eléctrico Escuela 2.

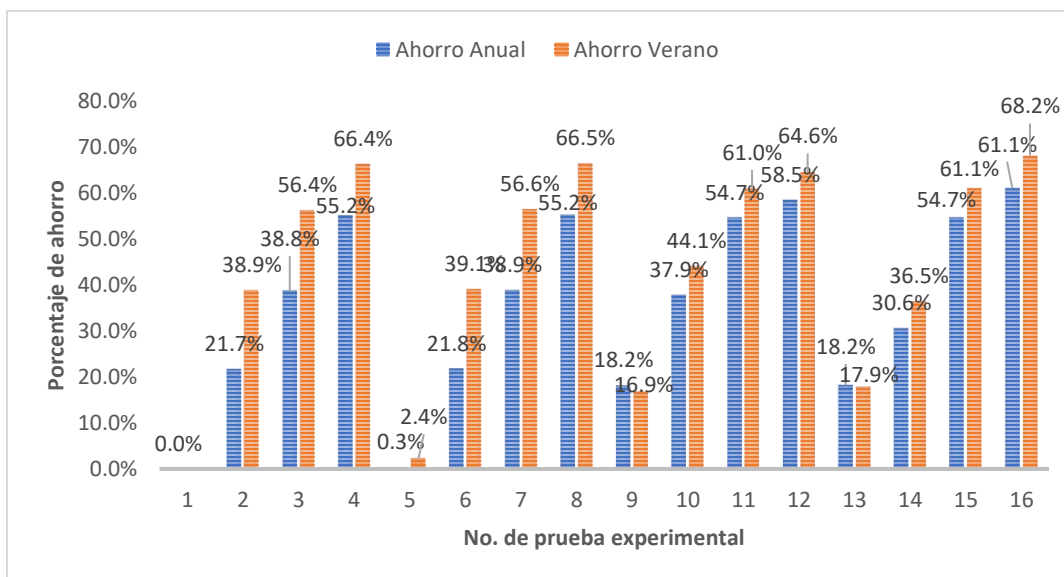


Figura 5.20. Ahorro económico Escuela 2.

De igual manera que en la escuela anterior, se observa el potencial de ahorro máximo anual, siendo éste de más de 79%; así como diferencia entre ahorro de los meses de verano y periodo anual, en las pruebas experimentales cuyas interacciones se

encuentran las AMDEn de sustitución de A.A. y AMDEn sin costo, las 4, 8, 12 y 16. Por medio de este resultado, se rechaza la hipótesis número uno, “Las AMDEn identificadas en el diagnóstico energético tienen el potencial de ahorrar hasta el 35% del consumo eléctrico anual en kWh en escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C.”, ya que el potencial de ahorro máximo anual presentado en esta escuela es del 79%.

Por otra parte, el potencial de ahorro es mayor que en la escuela anterior, debido a que ésta cuenta con un nivel alto de uno de sus factores, al ser de turno matutino y vespertino, y la anterior cuenta con los dos niveles bajos de sus dos factores. Dicha característica provoca que el uso de los sistemas de A.A. de la escuela actual sea significativamente mayor, además de que la actual escuela, Escuela 2, utiliza los sistemas de A.A. fuera del horario de clases. Por dicha razón, la implementación de la AMDEn sin costo, es decir, utilizar el sistema de A.A. solamente dentro del horario de clases tiene un efecto significativo en el consumo eléctrico de la escuela, por lo tanto, logra un potencial de ahorro máximo anual mayor que la Escuela 1, la cual utiliza sus sistemas de A.A. solamente durante su horario de clases. En el caso particular de esta escuela, su tarifa es la GDMTO, la cual se caracteriza por contar con precios de energía más económicos que las tarifas residenciales, por lo tanto, al aplicar AMDEn que buscan reducir el consumo, su ahorro será mayor en el aspecto eléctrico que económico.

En las Figuras 5.21 se encuentra el ahorro eléctrico y en la 5.22 el económico de la Escuela 3.

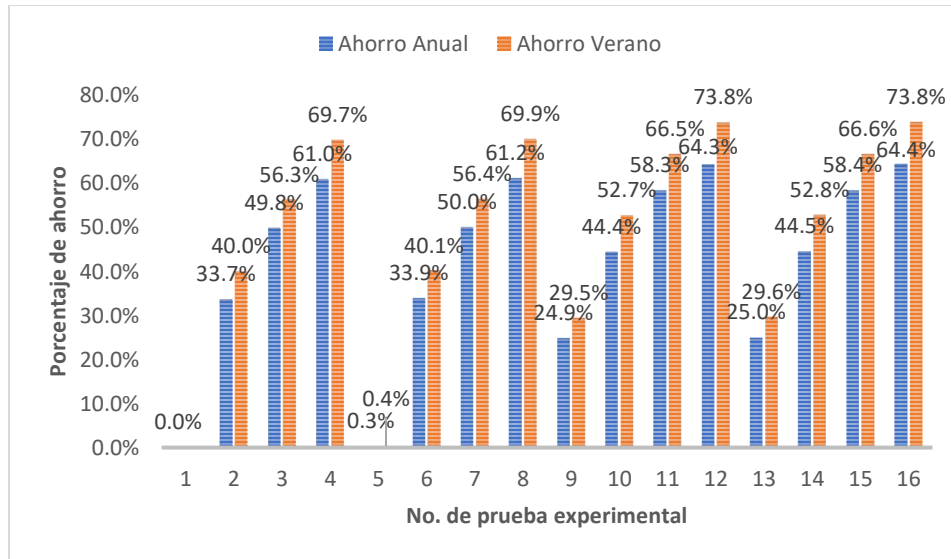


Figura 5.21. Ahorro eléctrico Escuela 3.

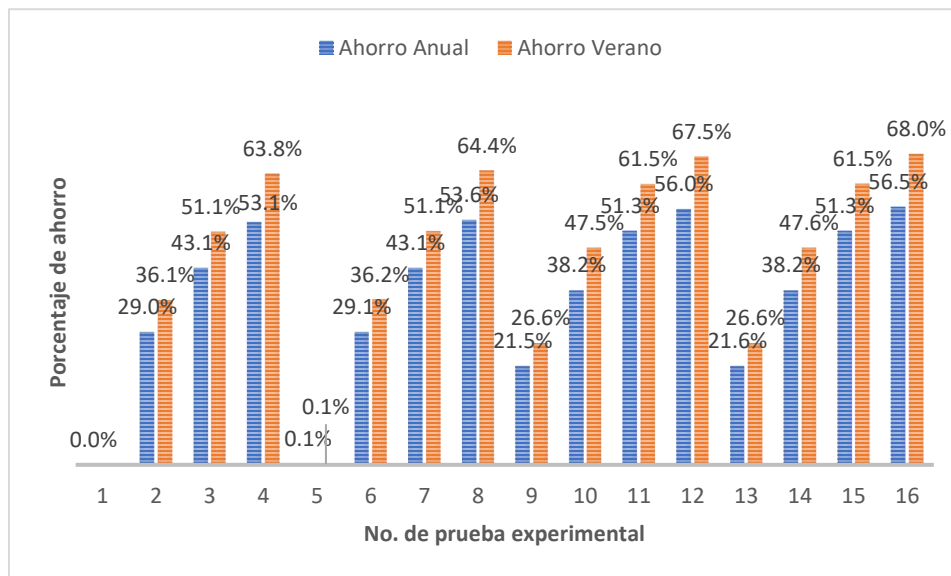


Figura 5.22. Ahorro económico Escuela 3.

El potencial de ahorro máximo anual se encuentra en las pruebas experimentales 4, 8, 12 y 16, siendo el mayor de 64%. Lo que tienen en común dichas pruebas es la interacción de las AMDEn de sustitución de A.A. y AMDEn sin costo. Se rechaza entonces la hipótesis número uno, "Las AMDEn identificadas en el diagnóstico energético tienen el potencial de ahorrar hasta el 35% del consumo eléctrico anual en kWh en

escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C.”, ya que el potencial de ahorro máximo anual presentado en esta escuela es del 64%.

En las Figuras 5.23 y 5.24 se encuentra el ahorro eléctrico y económico, respectivamente, de la Escuela 4.

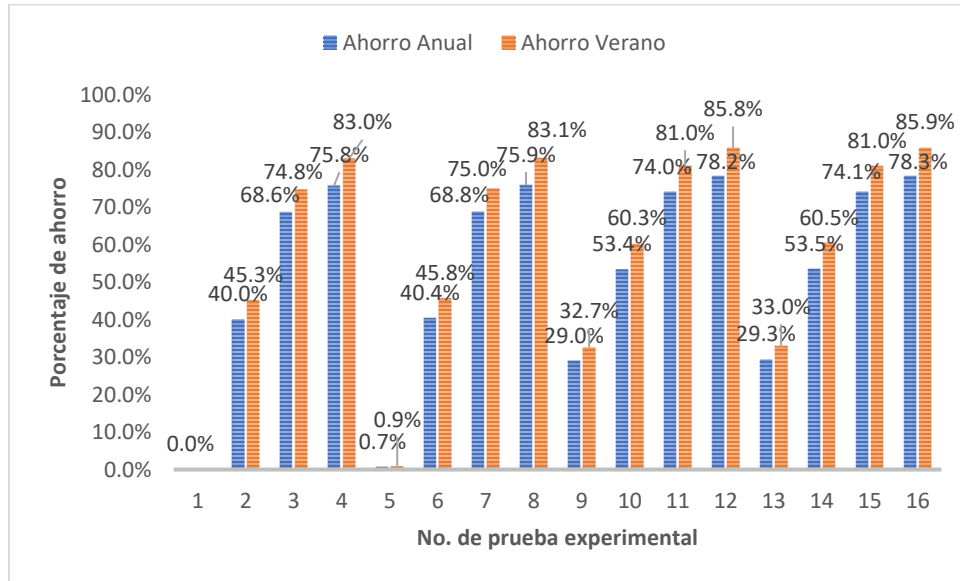


Figura 5.23. Ahorro eléctrico Escuela 4.

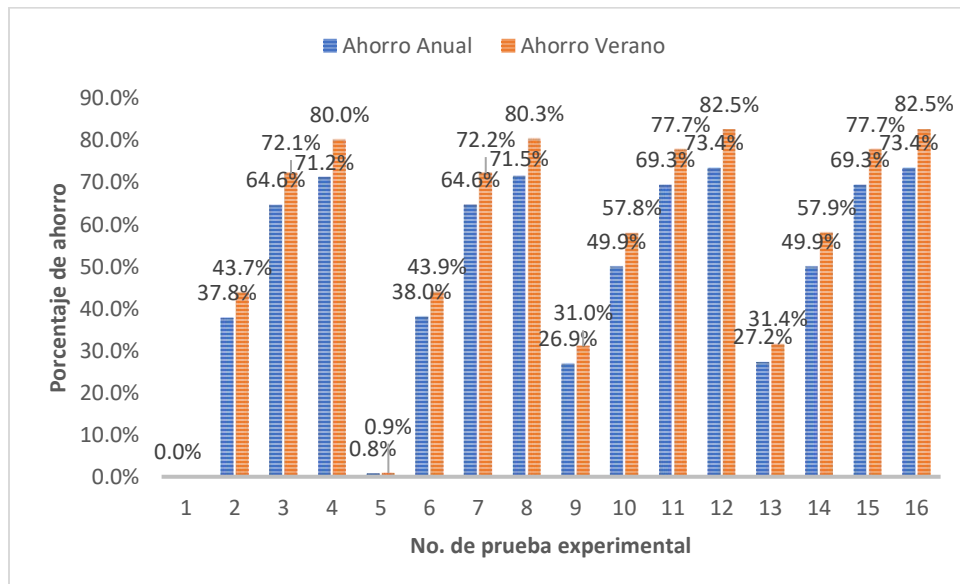


Figura 5.24. Ahorro económico Escuela 4.

Al igual que en las tres escuelas anteriores, el mayor ahorro se presenta en las pruebas experimentales 4, 8, 12 y 16, las cuales corresponden a las interacciones entre las AMDEn de sustitución de A.A. y aplicación de AMDEn sin costo, logrando un potencial de ahorro máximo anual del 78%. Por medio de este resultado se rechaza la hipótesis número uno, “Las AMDEn identificadas en el diagnóstico energético tienen el potencial de ahorrar hasta el 35% del consumo eléctrico anual en kWh en escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C.”, ya que el potencial de ahorro máximo anual presentado en esta escuela es del 78%.

## 5.5 Análisis de varianza

Para identificar cuales AMDEn a implementar tienen el efecto más significativo en la variable de respuesta, el consumo eléctrico en kWh, se encuentra a continuación un análisis de varianza con un 95% de confianza, del cual surgen los diagramas de Pareto expuestos a continuación. Cabe mencionar que el nombre del factor de “Acciones s/c” se refiere al de AMDEn sin costo. Con ayuda del análisis de Pareto realizado, se cumple el quinto objetivo específico: “Determinar las acciones con efecto significativo en el desempeño energético y sostenibilidad de escuelas primarias, a partir de un análisis de Pareto”.

Se presenta el análisis de varianza de la Escuela 1.

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	281389153	31265461	2792.79	0.000
Lineal	4	250481346	62620337	5593.57	0.000
A.A.	1	82905982	82905982	7405.59	0.000
Acciones s/c	1	106578472	106578472	9520.13	0.000
Sombreado	1	18426	18426	1.65	0.247
Aislamiento	1	60978466	60978466	5446.91	0.000
Interacciones de 2 términos	3	29570871	9856957	880.47	0.000
A.A.*Acciones s/c	1	12749719	12749719	1138.87	0.000
A.A.*Aislamiento	1	9626553	9626553	859.89	0.000
Acciones s/c*Aislamiento	1	7194599	7194599	642.66	0.000

Interacciones de 3 términos	1	1325736	1325736	118.42	0.000
A.A.*Acciones s/c*Aislamiento	1	1325736	1325736	118.42	0.000
Interacciones de 4 términos	1	11201	11201	1.00	0.356
A.A.*Acciones s/c*Sombreado*Aislamiento	1	11201	11201	1.00	0.356
Error	6	67170	11195		
Total	15	281456324			

El valor p indica si el factor o interacción tiene un efecto significativo en la variable de respuesta, el consumo eléctrico. Debido a que el nivel de confianza empleado en el análisis de varianza es del 95%, si el valor p del factor o la interacción es menor a .05, se dice que el factor o interacción tiene un efecto significativo en la variable de respuesta. Se puede observar entonces que los cuatro factores por sí solos sí tienen efecto, a excepción del sombreado, cuyo valor p es mayor a .05. Por otro lado, la interacción de los niveles altos de los cuatro factores, es decir, la implementación de las cuatro AMDEn, es la interacción con menor efecto significativo en la respuesta de salida. En la Figura 5.25 se encuentra el diagrama de Pareto que incluye los efectos estandarizados de los factores en la variable de respuesta, consumo eléctrico.

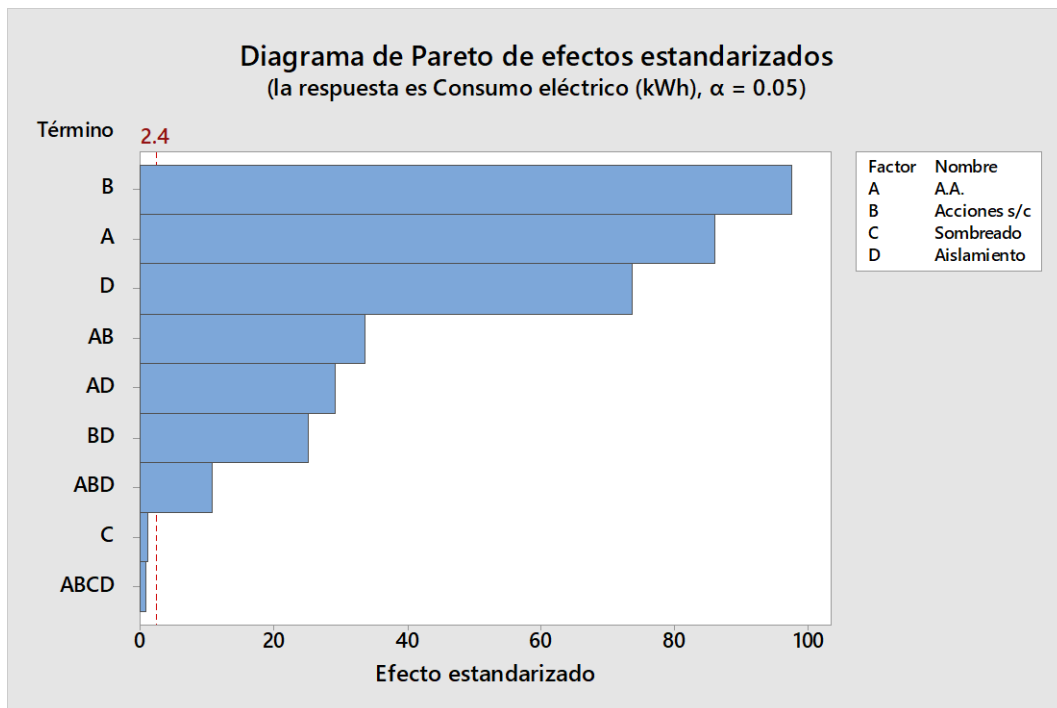


Figura 5.25. Diagrama de Pareto para la Escuela 1.

Se observa como el efecto de la AMDEn sin costo de “Acciones s/c” es el principal, seguido de la sustitución de los sistemas actuales de A.A. por más eficientes, seguido del aislamiento. La acción con menor efecto en el consumo eléctrico es la interacción de las cuatro AMDEn. La AMDEn de “Sombreado” es la segunda con menor efecto en la variable de respuesta. Mediante la figura 5.25 se puede determinar que la hipótesis número tres, “La sustitución de sistemas de A.A. por sistemas más eficientes es la AMDEn con mayor impacto en el ahorro eléctrico”, se rechaza, debido a que la AMDEn con mayor impacto en el ahorro eléctrico es la de AMDEn sin costo.

A continuación, se encuentra el análisis de varianza de la Escuela 2.

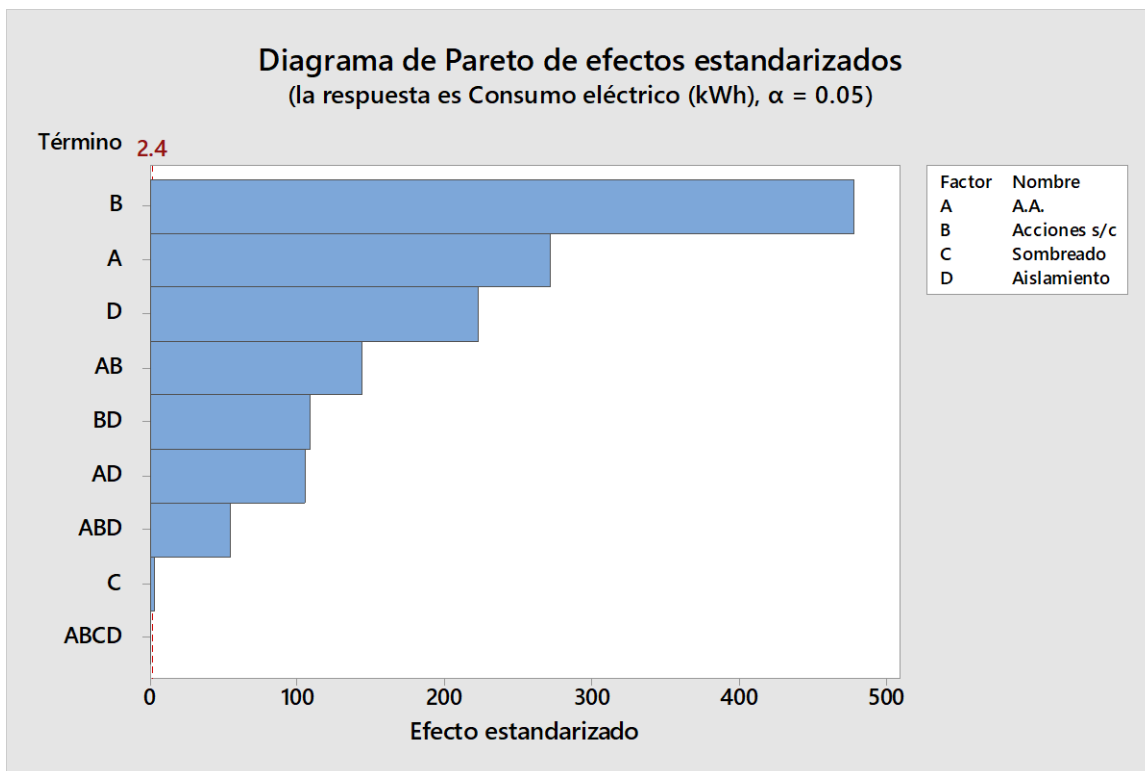
### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	3250289759	361143307	44354.19	0.000
Lineal	4	2870432175	717608044	88133.78	0.000
A.A.	1	603180333	603180333	74080.22	0.000
Acciones s/c	1	1863131559	1863131559	228822.45	0.000
Sombreado	1	67654	67654	8.31	0.028
Aislamiento	1	404052628	404052628	49624.15	0.000
Interacciones de 2 términos	3	355077093	118359031	14536.39	0.000
A.A.*Acciones s/c	1	169050958	169050958	20762.17	0.000
A.A.*Aislamiento	1	89914361	89914361	11042.93	0.000
Acciones s/c*Aislamiento	1	96111773	96111773	11804.07	0.000
Interacciones de 3 términos	1	24780449	24780449	3043.44	0.000
A.A.*Acciones s/c*Aislamiento	1	24780449	24780449	3043.44	0.000
Interacciones de 4 términos	1	43	43	0.01	0.945
A.A.*Acciones s/c*Sombreado*Aislamiento	1	43	43	0.01	0.945
Error	6	48854	8142		
Total	15	3250338613			

A diferencia que en la escuela anterior, los cuatro factores por sí solos tienen efecto. Además, la interacción de los niveles altos de los cuatro factores, es decir, la

implementación de las cuatro AMDEN, es la interacción con menor efecto estandarizado en la respuesta de salida.

A continuación, se encuentran el diagrama de Pareto que incluye los efectos estandarizados de los factores en la variable de respuesta, consumo eléctrico, de la Escuela 2.



*Figura 5.26. Diagrama de Pareto para la Escuela 2.*

Se observa como el efecto de la AMDEN de “Acciones s/c” es el principal, seguido de la sustitución de los sistemas actuales de A.A. por más eficientes, seguido por el aislamiento. La acción con menor efecto en el consumo eléctrico es la interacción de las cuatro AMDEN. La acción de “Sombreado” es la segunda con menor efecto en la variable de respuesta. De manera gráfica es difícil distinguir si es significativa o no, pero, en el análisis de varianza, donde se aprecia su valor p de .028, el cual es menor a .05, permite identificar que es significativa.

Si se compara el efecto del factor B, “Acciones s/c”, en la variable de respuesta de la Escuela 1 y Escuela 2, se observa que el efecto es mayor en la presente escuela, lo cual significa que existe una alta variabilidad debido a que en esta escuela, se cuenta con sistemas de A.A. que son dejados encendidos las 24 horas del día, así como uso de luminarias fuera del horario escolar, mientras que la Escuela 1, no. Se reitera que no se estandariza ninguna acción de comportamiento energético de cada escuela por individual, por lo cual los resultados relacionados y el ahorro logrado con respecto a la AMDEn de “acciones sin costo” varía en cada escuela. Si se observa el valor del error, con relación a los demás factores e interacciones, se desestima debido a su pequeña magnitud y se adjudica el alto valor del efecto estandarizado a la variabilidad de las pruebas experimentales. Al igual que en la escuela anterior, con la Figura 5.26 es posible determinar que la hipótesis número tres, “La sustitución de sistemas de A.A. por sistemas más eficientes es la AMDEn con mayor impacto en el ahorro eléctrico”, se rechaza, debido a que la AMDEn con mayor impacto en el ahorro eléctrico es la de acciones sin costo.

A continuación, se encuentra el análisis de varianza de la Escuela 3.

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	1845408564	205045396	164715.58	0.000
Lineal	4	1684538731	421134683	338302.87	0.000
A.A.	1	344633872	344633872	276848.79	0.000
Acciones s/c	1	1184390248	1184390248	951435.81	0.000
Sombreado	1	20351	20351	16.35	0.007
Aislamiento	1	155494260	155494260	124910.52	0.000
Interacciones de 2 términos	3	155343852	51781284	41596.57	0.000
A.A.*Acciones s/c	1	90487072	90487072	72689.42	0.000
A.A.*Aislamiento	1	25811372	25811372	20734.60	0.000
Acciones s/c*Aislamiento	1	39045409	39045409	31365.68	0.000
Interacciones de 3 términos	1	5525382	5525382	4438.61	0.000
A.A.*Acciones s/c*Aislamiento	1	5525382	5525382	4438.61	0.000
Interacciones de 4 términos	1	598	598	0.48	0.514

A.A.*Acciones s/c*Sombreado*Aislamiento	1	598	598	0.48	0.514
Error	6	7469	1245		
Total	15	1845416033			

Los cuatro factores por sí solos tienen efecto. Además, la interacción de los niveles altos de los cuatro factores, es decir, la implementación de las cuatro AMDEn, es la interacción con menor efecto estandarizado en la respuesta de salida.

A continuación, se encuentra el diagrama de Pareto que incluye los efectos estandarizados de los factores en la variable de respuesta, consumo eléctrico, de la Escuela 3.

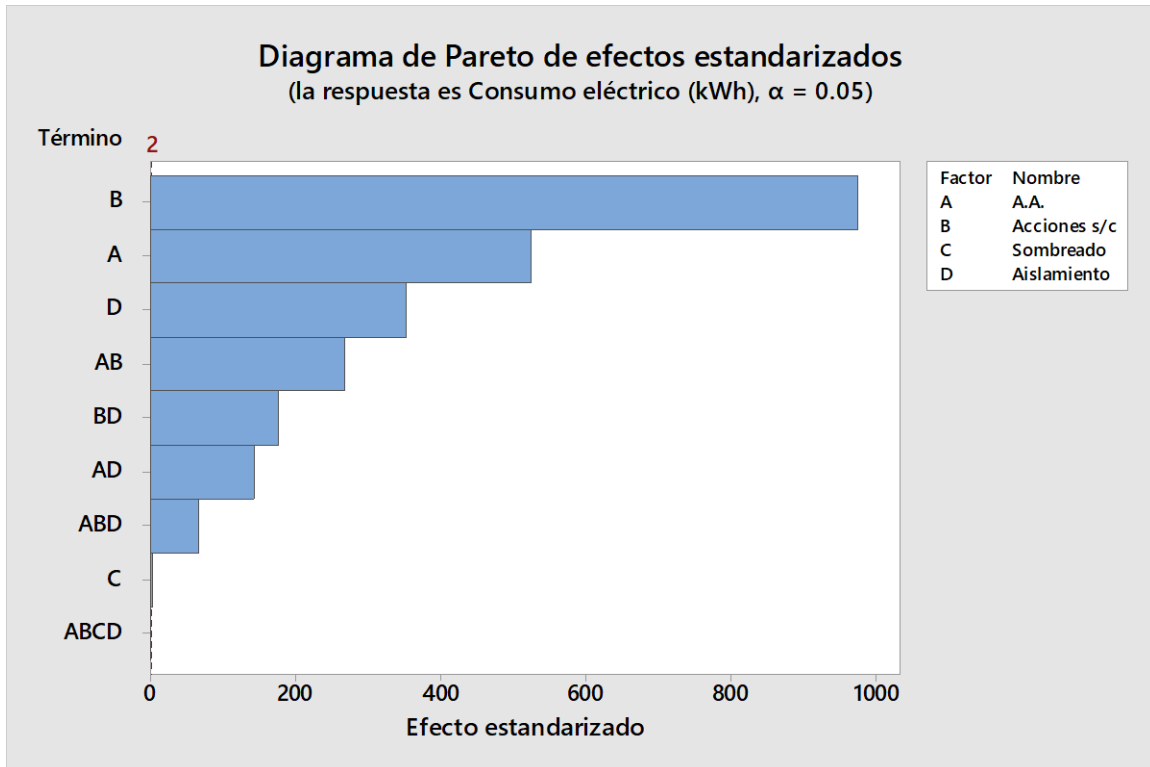


Figura 5.27. Diagrama de Pareto para la Escuela 3.

Se observa como el efecto de la acción de “Acciones s/c” es el principal, seguido de la sustitución de los sistemas actuales de A.A. por más eficientes, seguido de aislamiento. La acción con menor efecto en el consumo eléctrico es la interacción de las cuatro AMDEn. La acción de “Sombreado” es el factor con menor efecto en la variable de

respuesta. Como se mencionó anteriormente, al observar el valor del error, el alto valor del efecto estandarizado, así como del valor F, se adjudican a la variabilidad de las pruebas experimentales, debido a la pequeña magnitud de error. Además, por las acciones no estandarizadas de cada escuela, el alto valor del efecto estandarizado se adjudica a las prácticas de esta escuela, tales como temperatura de programación de los sistemas de A.A y uso de éstos. Mediante la Figura 5.27 es posible determinar, que la hipótesis número tres, “La sustitución de sistemas de A.A. por sistemas más eficientes es la AMDEn con mayor impacto en el ahorro eléctrico”, se rechaza, debido a que la AMDEn con mayor impacto en el ahorro eléctrico es la de acciones sin costo.

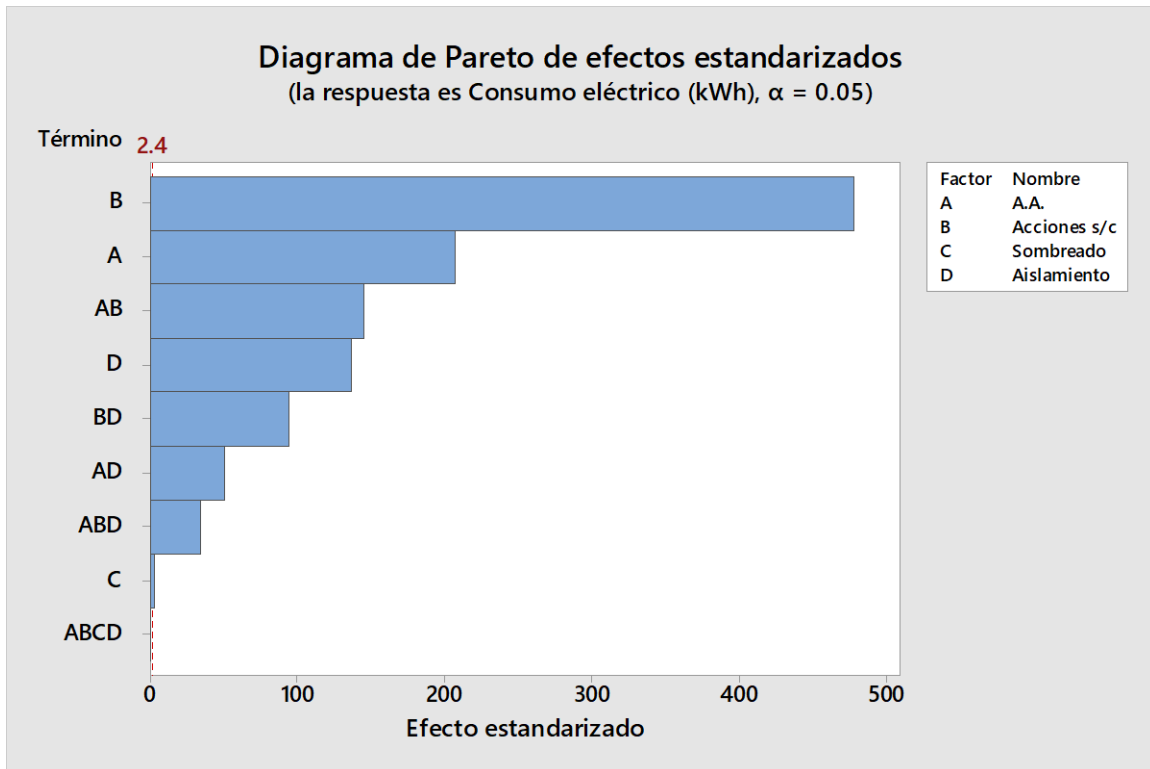
A continuación, se encuentra el análisis de varianza de la Escuela 4.

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	9599714863	1066634985	36121.47	0.000
Lineal	4	8598407044	2149601761	72796.01	0.000
A.A.	1	1278678969	1278678969	43302.31	0.000
Acciones s/c	1	6762553353	6762553353	229013.08	0.000
Sombreado	1	226751	226751	7.68	0.032
Aislamiento	1	556947971	556947971	18860.98	0.000
Interacciones de 2 términos	3	965437484	321812495	10898.14	0.000
A.A.*Acciones s/c	1	625281158	625281158	21175.07	0.000
A.A.*Aislamiento	1	76851458	76851458	2602.57	0.000
Acciones s/c*Aislamiento	1	263304868	263304868	8916.79	0.000
Interacciones de 3 términos	1	35869205	35869205	1214.71	0.000
A.A.*Acciones s/c*Aislamiento	1	35869205	35869205	1214.71	0.000
Interacciones de 4 términos	1	1130	1130	0.04	0.851
A.A.*Acciones s/c*Sombreado*Aislamiento	1	1130	1130	0.04	0.851
Error	6	177175	29529		
Total	15	9599892037			

Los cuatro factores por sí solos tienen efecto. Además, la interacción de los niveles altos de los cuatro factores, es decir, la implementación de las cuatro AMDEn, es la interacción con menor efecto estandarizado en la respuesta de salida.

A continuación, se encuentra el diagrama de Pareto que incluye los efectos estandarizados de los factores en la variable de respuesta, consumo eléctrico, de la Escuela 4.



*Figura 5.28. Diagrama de Pareto para la Escuela 4.*

Se observa como el efecto de la AMDEn de “Acciones s/c” es el principal, seguido de la sustitución de los sistemas actuales de A.A. por más eficientes, seguido de aislamiento. La acción con menor efecto en el consumo eléctrico es la interacción de las cuatro AMDEn. La acción de “Sombreado” es la acción por si sola con menor efecto en la variable de respuesta.

Mediante la Figura 5.28 es posible determinar, que la hipótesis número tres, “La sustitución de sistemas de A.A. por sistemas más eficientes es la AMDEN con mayor impacto en el ahorro eléctrico”, se rechaza, debido a que la AMDEN con mayor impacto en el consumo eléctrico es la propuesta de acciones sin costo.

## 5.6 Evaluación económica

Como parte de la identificación de la viabilidad de las AMDEN, se realiza una evaluación económica a diez años, la cual consiste en el VAN y el número de años necesarios para recuperar la inversión. Habiendo simulado el consumo eléctrico anual de cada prueba experimental que incluye los 16 escenarios de implementación de las AMDEN de cada escuela correspondiente a los años 2019-2028, se procede a ingresar al simulador de la tarifa correspondiente de cada escuela el consumo de cada año. Dicho simulador toma en cuenta la inflación al momento de simular el costo de los próximos años, obteniéndose así las tablas mostradas a continuación. Para la evaluación económica, se incluyen solamente las pruebas experimentales cuyos VAN resultó positivo en al menos una de las cuatro escuelas.

Es importante mencionar que la prueba experimental 1, la cual es el estado actual de la escuela, no tiene costo al no implementar ninguna AMDEN. Además, la AMDEN de acciones sin costo, la cual se encuentra en la prueba experimental número 3, la cual es únicamente dicha AMDEN sin interacción de otras, tampoco tiene costo. Por otra parte, se presentan los costos de implementación de las AMDEN de cada prueba experimental, con la opción de utilizar sistemas de A.A. de tipo paquete o de tipo minisplit.

En la Tabla 5.29 se encuentra el consumo eléctrico acumulado en 10 años, el costo de dicho consumo en ese periodo de tiempo, el costo de la implementación de las AMDEN con opción de sistema de A.A. de paquete y de minisplit de la Escuela 1.

*Tabla 5.29. Consumo y costo eléctrico acumulado en diez años y el costo de implementación de AMDEn de la Escuela 1.*

Número de prueba experimental	Consumo eléctrico acumulado en diez años (kWh)	Costo acumulado en diez años (pesos)	Costo AMDEn con Paquete	Costo AMDEn con minisplit
1	289,344	\$677,421.84	\$-	\$-
2	189,013	\$575,386.79	\$859,223.02	\$174,750.00
3	187,868	\$552,923.01	\$-	\$-
4	141,154	\$447,901.80	\$859,223.02	\$174,750.00
5	288,530	\$676,661.20	\$3,000.00	\$3,000.00
6	188,864	\$575,252.44	\$862,223.02	\$177,750.00
7	183,435	\$546,770.78	\$3,000.00	\$3,000.00
8	141,090	\$447,844.53	\$862,223.02	\$177,750.00
9	201,493	\$591,786.83	\$234,549.00	\$234,549.00
10	151,684	\$480,296.11	\$1,093,772.02	\$409,299.00
11	143,494	\$455,191.56	\$234,549.00	\$234,549.00
12	122,269	\$406,488.61	\$1,093,772.02	\$409,299.00
13	201,134	\$591,462.43	\$237,549.00	\$237,549.00
14	151,605	\$480,224.87	\$1,096,772.02	\$412,299.00
15	143,284	\$454,407.34	\$237,549.00	\$237,549.00
16	122,223	\$406,447.07	\$1,096,772.02	\$412,299.00

El costo del consumo acumulado en 10 años naturalmente es menor en la prueba experimental 16, al ésta ser la implementación de las cuatro AMDEn. Sin embargo, no es significativamente diferente de la prueba experimental 12, las cuales tienen en común la interacción de las AMDEn de sustitución de sistemas de A.A. y de AMDEn sin costo. Lo cual indica que la acción de sombreado no tiene un efecto significativo en el costo

eléctrico. Lo que sí es significativamente diferente es el costo de la implementación de las AMDEn correspondientes a las pruebas experimentales mencionadas. El aislamiento de los muros y techo eleva significativamente el costo de implementación, mientras que el sombreado no. Además, el costo de la implementación del uso de sistemas de A.A. de tipo paquete y minisplit es significativamente diferente.

En la Tabla 5.30 se encuentra la evaluación económica de las AMDEn a implementar y las pruebas experimentales, es decir, la interacción de las AMDEn entre sí.

*Tabla 5.30. Evaluación económica de pruebas experimentales de la Escuela 1.*

No. de prueba experimental	VAN (Sistema A.A. Paquete)	n (años)	VAN (Sistema A.A. minisplit)	n (años)
2	-\$757,187.97	--	-\$72,714.95	--
3	\$124,498.83	0	\$124,498.83	0
4	-\$629,702.97	--	\$54,770.05	8
5	-\$2,239.36	--	-\$2,239.36	--
8	-\$632,645.70	--	\$51,827.32	9
9	-\$148,913.99	--	-\$148,913.99	--
12	-\$822,838.78	--	-\$138,365.76	--
16	-\$825,797.25	--	-\$141,324.23	--

La evaluación económica de las AMDEn a implementar de la Escuela 1 permite observar que, instalando sistemas de A.A. de paquete la única prueba experimental con un VAN positivo es la número 3, que consiste en AMDEn sin costo, por lo que no hay ninguna inversión en sí. Mientras que la evaluación con el sistema de A.A. minisplit, el VAN resulta positivo en las pruebas 3, 4 y 8, que consisten en AMDEn sin costo, reemplazo de sistemas de A.A. con AMDEn sin costo y reemplazo de sistemas de A.A. con AMDEn sin costo con sombreado.

El tiempo de retorno de inversión es inmediato en la prueba experimental 3, debido a que no hay inversión, en ambos casos de instalación de sistemas de A.A. Mientras que en el

sistema de A.A. tipo minisplit, para la prueba experimental 4 y 8 el tiempo de retorno de inversión es de 8 y 9 años respectivamente.

En la Tabla 5.31 se encuentra el consumo eléctrico acumulado en 10 años, el costo de dicho consumo en ese periodo de tiempo y el costo de la implementación de las acciones de eficiencia energética con opción de sistema de A.A. de paquete y de minisplit de la Escuela 2.

*Tabla 5.31. Consumo y costo eléctrico acumulado en diez años y el costo de implementación de AMDEn de la Escuela 2.*

Número de prueba experimental	Consumo eléctrico acumulado en diez años (kWh)	Costo acumulado en diez años (pesos)	Costo AMDEn con Paquete	Costo AMDEn con minisplit
1	681,612	\$1,012,585.83	\$ -	\$ -
2	364,122	\$765,749.70	\$738,791.16	\$152,100.00
3	263,426	\$629,579.55	\$ -	\$ -
4	165,342	\$433,622.88	\$738,791.16	\$152,100.00
5	676,849	\$1,008,875.93	\$4,000.00	\$4,000.00
6	362,644	\$764,598.68	\$742,791.16	\$156,100.00
7	261,756	\$626,441.13	\$4,000.00	\$4,000.00
8	164,800	\$433,199.69	\$742,791.16	\$156,100.00
9	409,458	\$766,581.73	\$218,407.00	\$218,407.00
10	269,009	\$579,108.51	\$957,198.16	\$370,507.00
11	172,619	\$450,608.93	\$218,407.00	\$218,407.00
12	130,675	\$381,110.43	\$957,198.16	\$370,507.00
13	408,574	\$800,626.98	\$222,407.00	\$222,407.00
14	268,355	\$648,871.73	\$961,198.16	\$374,507.00
15	172,102	\$449,206.42	\$222,407.00	\$222,407.00
16	128,760	\$368,515.39	\$961,198.16	\$374,507.00

Como en la escuela anterior, el costo del consumo acumulado en 10 años correspondiente a la prueba experimental 16 es el menor de todos, ya que incluye la implementación de las cuatro AMDEn. También, no es significativamente diferente de la prueba experimental 12, las cuales tienen en común la interacción de las AMDEn de sustitución de sistemas de A.A., AMDEn sin costo y aislamiento. Lo cual indica que la AMDEn de sombreado no tiene un efecto significativo en el costo eléctrico. Lo que sí es significativamente diferente es el costo de la implementación de las AMDEn correspondientes a las pruebas experimentales mencionadas. El aislamiento eleva significativamente el costo de implementación, mientras que el sombreado no. Además, el costo de la implementación del uso de sistemas de A.A. de tipo paquete y minisplit es significativamente diferente.

En la Tabla 5.32 se encuentra la evaluación económica de las AMDEn a implementar y las pruebas experimentales, es decir, la interacción de las AMDEn entre sí.

*Tabla 5.32. Evaluación económica de pruebas experimentales de Escuela 2.*

No. de prueba experimental	VAN (Sistema A.A. Paquete)	n (años)	VAN (Sistema A.A. minisplit)	n (años)
2	-\$491,955.03	--	\$94,736.13	7
3	\$383,006.28	0	\$383,006.28	0
4	-\$159,828.21	--	\$426,862.95	4
5	-\$290.10	--	-\$290.10	--
8	-\$163,405.02	--	\$423,286.14	4
9	\$27,597.10	10	\$27,597.10	10
12	-\$325,722.76	--	\$260,968.40	7
16	-\$317,127.72	--	\$269,563.44	7

La evaluación económica de las AMDEn a implementar de la Escuela 2 permite ver que, instalando sistemas de A.A. de paquete, las únicas pruebas experimentales con un VAN positivo son la número 3, que consiste en AMDEn sin costo, por lo que no hay ninguna inversión en sí, y la número 9, aislamiento por sí solo. Mientras que la evaluación con el

sistema minisplit, el VAN resulta positivo en todas a excepción de la 5, la cual es la acción por si sola de sombreado.

Al igual que en la escuela anterior, Escuela 1, el tiempo de retorno de inversión es inmediato en la prueba experimental 3, debido a que no hay inversión, en ambos casos de los sistemas de A.A. Mientras que en la evaluación del sistema de A.A. tipo minisplit, la prueba 4 es la que presenta el menor tiempo de retorno de inversión (a excepción de la número 3), de 4 años, siendo la combinación de reemplazo de sistemas de A.A. y acciones sin costo. A diferencia que, en la escuela anterior, las pruebas experimentales que contienen la acción de aislamiento tienen un VAN positivo, lo que representa que el aislamiento tiene un efecto significativo en el consumo eléctrico.

En la Tabla 5.33 se encuentra el consumo eléctrico acumulado en 10 años, el costo de dicho consumo en ese periodo de tiempo, el costo de la implementación de las acciones de eficiencia energética con opción de sistema de A.A. de paquete y de minisplit de la Escuela 3.

*Tabla 5.33. Consumo y costo eléctrico acumulado en diez años y el costo de implementación de AMDEn de la Escuela 3.*

Número de Prueba experimental	Consumo eléctrico acumulado en diez años (kWh)	Costo acumulado en diez años (pesos)	Costo AMDEn con Paquete	Costo AMDEn con minisplit
1	572,394	\$1,177,089.45	\$-	\$-
2	370,181	\$812,875.24	\$1,537,361.40	\$326,850.00
3	298,383	\$689,025.36	\$-	\$-
4	220,711	\$536,246.52	\$1,537,361.40	\$326,850.00
5	570,517	\$1,174,156.62	\$15,000.00	\$15,000.00
6	369,228	\$811,654.42	\$1,552,361.40	\$341,850.00
7	297,447	\$687,301.14	\$15,000.00	\$15,000.00
8	219,280	\$534,771.48	\$1,552,361.40	\$341,850.00
9	423,220	\$906,034.73	\$581,602.00	\$581,602.00
10	305,667	\$696,113.11	\$2,118,963.40	\$908,452.00

11	239,263	\$572,607.80	\$581,602.00	\$581,602.00
12	197,283	\$493,295.10	\$2,118,963.40	\$908,452.00
13	422,469	\$905,458.80	\$596,602.00	\$596,602.00
14	305,269	\$695,269.38	\$2,133,963.40	\$923,452.00
15	238,887	\$572,317.41	\$596,602.00	\$596,602.00
16	197,075	\$492,679.18	\$2,133,963.40	\$923,452.00

Al igual que en las dos escuelas anteriores, el consumo de la prueba 16 es el menor y es similar al de la prueba 12, indicando que el sombreado no causa un efecto significativo en el consumo. El costo de implementación es más alto que en las escuelas anteriores, debiéndose a que la Escuela 3 cuenta con el nivel alto de factor de grupos, siendo éste de 12, a diferencia que las dos escuelas anteriores que son sólo de 6 grupos.

En la Tabla 5.34 se encuentra la evaluación económica de las AMDEn a implementar y las pruebas experimentales, es decir, la interacción de las AMDEn entre sí.

*Tabla 5.34. Evaluación económica de pruebas experimentales de Escuela 3*

No. de prueba experimental	VAN (Sistema A.A. Paquete)	n (años)	VAN (Sistema A.A. minisplit)	n (años)
2	-\$1,173,147.20	--	\$37,364.20	10
3	\$488,064.08	0	\$488,064.08	0
4	-\$896,518.47	--	\$313,992.93	6
5	-\$12,067.17	--	-\$12,067.17	--
8	-\$910,043.44	--	\$300,467.96	6
9	-\$310,547.28	--	-\$310,547.28	--
12	-\$1,435,169.06	--	-\$224,657.66	--
16	-\$1,449,553.14	--	-\$239,041.74	--

La evaluación económica de las AMDEn a implementar de la Escuela 3 permite identificar que, instalando sistemas de A.A. de paquete la única prueba experimental con un VAN

positivo es la número 3, que consiste en las AMDEn sin costo, por lo que no hay ninguna inversión en sí. Mientras que la evaluación con el sistema minisplit, el VAN resulta positivo en las pruebas 2, 3, 4 y 8, que consisten en reemplazo de sistemas de A.A., AMDEn sin costo, acciones sin costo con reemplazo de sistemas de A.A. y reemplazo de sistemas de A.A. con sombreado con acciones sin costo.

El tiempo de retorno de inversión es inmediato en la prueba experimental 3, debido a que no hay inversión. Mientras que en la evaluación del sistema de A.A. tipo minisplit, la prueba 4 y 8 presentan un tiempo de retorno de inversión de 6 años, y la prueba 2, la acción de reemplazo de sistemas de A.A. por si solos, presenta un retorno de 10 años.

En la Tabla 5.36 se encuentra el consumo eléctrico acumulado en 10 años, el costo de dicho consumo en ese periodo de tiempo, el costo de la implementación de las acciones de eficiencia energética con opción de sistema de A.A. de paquete y de minisplit de la Escuela 4.

*Tabla 5.35. Consumo eléctrico acumulado en diez años y el costo de implementación de AMDEn de la Escuela 4.*

Número de Prueba experimental	Consumo eléctrico acumulado en diez años (kWh)	Costo acumulado en diez años (pesos)	Costo AMDEn con Paquete	Costo AMDEn con minisplit
1	1,101,618	\$2,251,863.50	\$-	\$-
2	641,936	\$1,354,632.63	\$1,535,142.48	\$379,300.00
3	324,378	\$733,177.66	\$-	\$-
4	241,792	\$573,288.85	\$1,535,142.48	\$379,300.00
5	1,093,039	\$2,232,793.70	\$18,000.00	\$18,000.00
6	637,269	\$1,345,732.55	\$1,553,142.48	\$397,300.00
7	322,512	\$730,294.60	\$18,000.00	\$18,000.00
8	240,765	\$571,076.86	\$1,553,142.48	\$397,300.00
9	768,470	\$1,601,312.02	\$834,588.00	\$834,588.00
10	488,699	\$1,056,333.57	\$2,369,730.48	\$1,213,888.00
11	262,199	\$613,269.78	\$834,588.00	\$834,588.00

12	213,584	\$517,020.71	\$2,369,730.48	\$1,213,888.00
13	764,685	\$1,594,163.60	\$852,588.00	\$852,588.00
14	486,711	\$1,052,465.08	\$2,387,730.48	\$1,231,888.00
15	261,435	\$611,096.56	\$852,588.00	\$852,588.00
16	213,169	\$516,701.69	\$2,387,730.48	\$1,231,888.00

En la Tabla 5.37 se encuentra la evaluación económica de las AMDEN a implementar y las pruebas experimentales, es decir, la interacción de las AMDEN entre sí.

*Tabla 5.36. Evaluación económica de pruebas experimentales de Escuela 4.*

No. de prueba experimental	VAN (Sistema A.A. Paquete)	n (años)	VAN (Sistema A.A. minisplit)	n (años)
2	-\$637,911.61	--	\$517,930.87	6
3	\$1,518,685.84	0	\$1,518,685.84	0
4	\$143,432.17	10	\$1,299,274.65	3
5	\$1,069.80	10	\$1,069.80	10
8	\$127,644.16	10	\$1,283,486.64	3
9	-\$184,036.52	--	-\$184,036.52	--
12	-\$634,887.69	--	\$520,954.79	8
16	-\$652,568.67	--	\$503,273.81	8

La evaluación económica de las AMDEN a implementar de la Escuela 4 permite observar que, instalando sistemas de A.A. de paquete las únicas pruebas experimentales con un VAN positivo es la número 3, que consiste en AMDEN sin costo, y las 4, 5 y 8, sistemas de A.A. con acciones, sombreado por sí solo y reemplazo de sistemas de A.A. con sombreado con acciones sin costo. Mientras que la evaluación con el sistema minisplit, el VAN resulta positivo en todas las pruebas a excepción de la número 9, la cual es aislamiento por sí solo.

En los sistemas de A.A. de paquete, el tiempo de retorno de inversión es inmediato en la prueba experimental 3, debido a que no hay inversión. Las otras 3 pruebas con VAN positivo tienen un tiempo de retorno de inversión de 10 años. Mientras que en la evaluación del sistema de A.A. tipo minisplit, las pruebas 4 y 8 presentan el menor tiempo de retorno de inversión (a excepción de la número 3), siendo este de 3 años, la cual es la combinación de sistema de A.A. con AMDEn sin costo, y la misma con sombreado, y la prueba con mayor tiempo de retorno de inversión es la número 5, sombreado por sí solo, con 10 años.

## 5.7 Diseño del Sistema de Gestión de la Energía

Como parte del objetivo específico dos, “Diseñar un SGEEn enfocado hacia escuelas primarias que se encuentre apegado a la Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2019”, a partir del diagnóstico energético, se logró establecer un diseño de SGEEn creado a partir de los requerimientos de dicha Norma. Este diseño consiste en la siguiente política energética y los siguientes procedimientos:

*Política energética de las Escuelas Primarias del Sistema Educativo Estatal (EPSEE):*

*“El Instituto de Servicios Educativos y Pedagógicos del Gobierno de Baja California, asumimos la responsabilidad de apoyar con la reducción del consumo eléctrico de las EPSEE a través de la capacitación de su personal, el mejoramiento, adquisición y mantenimiento de sus equipos e instalaciones, así como gestionar recursos económicos, para lograr el cumplimiento de los requisitos legales, objetivos y metas establecidas, orientadas a mejorar el desempeño energético de la organización.*

*Con el fin de promover la transparencia y revisión de resultados en las EPSEE, ponemos a disposición la información requerida para la operación del SGEEn, así como los datos sobre el consumo de energía, costos eléctricos y los recursos necesarios para alcanzar los objetivos y metas energéticas establecidas. Apoyamos la adquisición de productos y servicios de eficiencia energética que impactan en el desempeño eléctrico, así como las actividades de diseño que consideren la mejora del mismo.*

*La alta dirección manifestamos el compromiso que todo el personal académico, administrativo y de intendencia que labora en las EPSEE tiene el compromiso de utilizar de manera racional y eficiente la energía en las escuelas primarias que se encuentran ubicadas en la zona urbana de la ciudad de Mexicali, mediante el establecimiento y revisión periódica de objetivos y metas energéticas.*

*A través de la implementación de procesos orientados a la mejora continua del desempeño energético de las EPSEE y del SGEN, aseguramos que lo expuesto en esta política se aplicará cíclicamente durante todo el tiempo que perduren las actividades de las escuelas ubicadas en la zona urbana de Mexicali y establecemos que es responsabilidad de todos los involucrados ejecutar las acciones necesarias para el cumplimiento de esta”.*

## MN-SGEN-01 Manual de Gestión de la energía

### Objeto y campo de aplicación

Manual basado en la norma ISO 50001:2018, en el cual se describe la forma en la que se implementa un SGEN en las EPSEE. Tiene la finalidad de lograr la mejora continua del desempeño energético, cumplir los requisitos legales y otros, así como el logro de los objetivos y metas energéticas, reduciendo las emisiones al ambiente y agregando valor a la organización y a sus partes interesadas.

PS-SGEN-01. Información documentada.

### Objetivo

Elaborar y controlar los procedimientos, formatos y registros del SGEN y de los documentos que afectan al desempeño energético de las EPSEE.

### Alcance

Todos los procedimientos, formatos, registros internos, registros externos y archivos que integran el SGEN de las EPSEE.

PS-SGEN-02-Revision Energética Institucional

### Objetivo

Elaborar el procedimiento de revisión del SGEN y desempeño energético de las EPSEE.

### Alcance

Todos los procedimientos, formatos, registros internos, registros externos y archivos que integran el SGEN de las EPSEE.

PS-SGEN-03-Auditoría Interna

### Objetivo

Establecer la metodología que se utiliza para realizar las auditorías internas en las EPSEE para verificar la conformidad del SGEN con la Norma ISO 50001:2018.

### Alcance

Aplica a todos los documentos, procesos y funciones que se encuentran dentro del alcance del SGEN.

PS-SGEN-04 Mejora Continua y Acción Correctiva

## Objetivo

Asegurar la mejora continua de la idoneidad, adecuación y eficacia del SGE<sub>n</sub>, así como del desempeño energético de las EPSEE, mediante la aplicación de acciones de mejora o correctivas pertinentes y la revisión de sus resultados.

## Alcance

El procedimiento aplica en todas las instalaciones, equipos, sistemas y procesos involucrados en el funcionamiento de las EPSEE.

## PG-SGE<sub>n</sub>-01 Planeación

## Objetivo

Establecer las estrategias, objetivos, acciones y metas para realizar una planificación que contribuya a la mejora del SGE<sub>n</sub> y desempeño energético de las EPSEE.

## Alcance

El procedimiento aplica en todas las instalaciones, equipos, personal y procesos involucrados en el uso de la energía en la EPSEE.

## Descripción

Manera en la que se planea el uso de la energía a principios del año escolar por el director de cada plantel, se incluye: metas energéticas, LBE, USE<sub>n</sub>, indicadores energéticos, caracterización de escuelas, variables, etc. Se incluyen estadísticas del año escolar anterior más próximo.

## PG-SGE<sub>n</sub>-02 Seguimiento a cumplimiento de NOM-ENER y Programa ASI

## Objetivo

Establecer estrategias, objetivos, métodos, acciones y metas que permitan documentar los valores y características establecidas por las NOM-ENER seleccionadas como relevantes en esta investigación, así como del Programa ASI, que contribuya a la mejora del SGE<sub>n</sub> y desempeño energético de las EPSEE.

## Alcance

El procedimiento aplica en todas las instalaciones, equipos y procesos involucrados en el uso de la energía en la EPSEE.

## Descripción

Documentar los valores establecidos por las NOM-ENER y Subprograma ASI en lo referente a aislamiento, eficiencia REEE de sistemas de A.A., tipo de sistemas de iluminación y sombreado, para verificar que cumplan con lo señalado por dichas instancias o reportar su incumplimiento.

## PG-SGE<sub>n</sub>-03 Operación de Sistemas de Aire Acondicionado

## Objetivo

Establecer estrategias, objetivos, acciones y metas que permitan contribuir a la operación y funcionamiento de los sistemas de A.A., la mejora del SGEN y desempeño energético de las EPSEE.

Alcance

El procedimiento aplica en todos los sistemas de A.A. pertenecientes a las EPSEE.

Descripción

Establecer operación de los sistemas de A.A., que incluya la competencia, asignación de roles y responsabilidades, así como fijar horarios de uso de dichos sistemas dentro de periodos asignados.

PG-SGEN-04 Operación de acciones sin costo

Objetivo

Establecer las estrategias, objetivos, acciones y metas destinadas a la operación de las acciones sin costo que contribuya a la mejora del SGEN y desempeño energético de las EPSEE.

Alcance

El procedimiento aplica en todas las instalaciones, equipos, personas y procesos involucrados en el uso de la energía de las EPSEE.

Descripción

Asegurar que las acciones sin costo tales como programación de temperatura de termostato de sistemas de A.A., uso de equipos de EPSEE durante periodo vacacional se desconecten, exista un correcto cerrado de puertas y ventanas, el sistema de luminarias interior se utilice en horarios de clase y exterior en horario nocturno, etc.

PG-SGEN-05 Concientización del Uso de la Energía

Objetivo

Establecer las estrategias, objetivos, acciones y metas destinadas al uso racional de la energía que contribuya a la mejora del SGEN y desempeño energético de las EPSEE.

Alcance

El procedimiento aplica en todas las instalaciones, equipos, personas y procesos involucrados en el uso de la energía de las EPSEE.

Descripción

Asegurar que todos los ocupantes del edificio utilicen la energía de manera racional, al impartir distintos talleres, pláticas y dinámicas de concientización del uso energético.

# Sistema de Gestión de la Energía de EPSEE

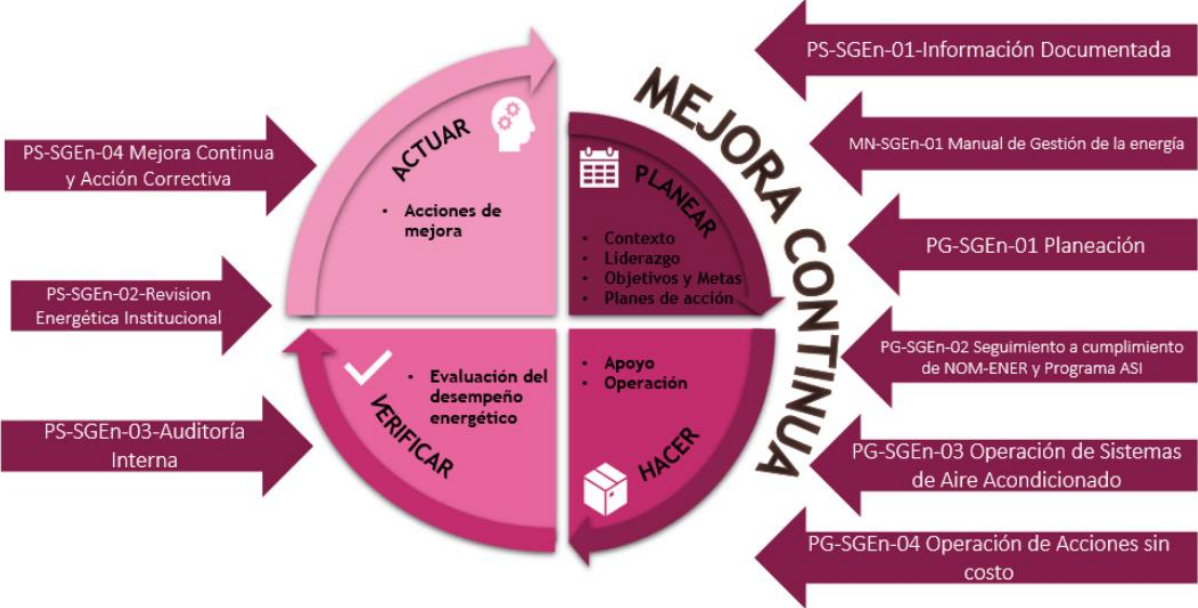


Figura 5.29. SGEn de EPSEE con descripción

## Capítulo 6

### Conclusiones y recomendaciones

Habiendo realizado un diagnóstico energético en cuatro planteles de escuelas primarias pertenecientes a la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C. y analizado los resultados obtenidos de la implementación de las acciones de eficiencia energética siguiendo la metodología propuesta junto con el diseño de experimentos, se puede concluir lo siguiente:

H1: Se rechaza la hipótesis: “Las AMDEN identificadas en el diagnóstico energético tienen el potencial de ahorrar hasta el 35% del consumo eléctrico anual en kWh en escuelas primarias de la zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C.”.

El potencial de ahorro máximo anual al aplicar todas las AMDEN de manera conjunta, es decir, la prueba experimental número 16, en el consumo eléctrico de cada escuela varía debido a las características de cada una. La Escuela 1 tiene un potencial de ahorro máximo del 55%, la Escuela 2 de 79%, la Escuela 3 de 64% y la Escuela 4 de 78%. Como se puede observar, en las dos escuelas con nivel alto del factor de turno, es decir, las dos escuelas de turno mixto (Escuela 2 y Escuela 4), se tienen el potencial de ahorro más elevado; Esto confirma también lo que el análisis de varianza y diagrama de Pareto indican, que la AMDEN sin costo tiene el efecto más significativo en el desempeño energético debido a que ambas escuelas de turno mixto dejan encendidos los sistemas de A.A. fuera del horario de clases.

H2: Se acepta la hipótesis: “Las escuelas primarias analizadas no cumplen los valores establecidos por las NOM-ENER de sistemas de A.A. empleadas en esta investigación.”.

Al evaluar las dos NOM-ENER de sistemas de A.A. empleadas en esta investigación, a excepción de un solo sistema de A.A. en una escuela en particular, los sistemas de A.A.

de las escuelas primarias no cumplen con la eficiencia mínima requerida que dichas NOM-ENER establecen.

H3: Se rechaza la hipótesis: “La sustitución de sistemas de A.A. por sistemas más eficientes es la AMDEn con mayor impacto en el ahorro eléctrico”.

Mediante el análisis de varianza y diagrama de Pareto, es posible determinar que la AMDEn con mayor efecto estandarizado es la de acciones sin costo, mientras que la AMDEn de sustituir sistemas de A.A. por equipos más eficientes es la segunda con mayor efecto estandarizado. Esto a pesar de que todos de los sistemas de A.A. (a excepción de 1) no cumplían con el valor de eficiencia mínima indicada por la NOM- ENER-011-2006 y la NOM-ENER-023-2018.

H4: Se rechaza para los alumnos y acepta para los docentes pertenecientes a las escuelas la hipótesis “Los ocupantes del edificio no se encuentran satisfechos con el confort térmico”.

Al realizar la toma de mediciones para conocer las características de la escuela, la cual incluye la aplicación de encuestas a los ocupantes del edificio, se puede proceder a rechazar tal hipótesis para los alumnos, ya que dentro de la escala de Likert, las respuestas a dicha pregunta tienden a superar el valor de 4, “satisfecho”, de la pregunta “¿Qué tan contento te encuentras con el sistema de A.A. de tu salón?”; mientras que para los docentes se acepta, debido a que sus respuestas tienden al valor de 3, “neutral”.

Respondiendo a las preguntas de investigación, se tiene lo siguiente:

P1: ¿Cuáles son las AMDEn que ocasionan el mayor impacto en el desempeño energético en escuelas primarias?

A través del análisis de varianza y los diagramas de Pareto, se puede apreciar que las AMDEn con mayor efecto en la variable de respuesta, consumo eléctrico en kWh, es el emplear acciones sin costo y contar con sistemas de A.A. cuya eficiencia se encuentre dentro de lo establecido de las NOM-ENER correspondientes.

P2: ¿Cuáles son los indicadores de sostenibilidad más útiles para demostrar el desempeño energético de escuelas primarias?

A partir de un análisis se determinó que los indicadores más útiles para demostrar el desempeño energético son consumo eléctrico por alumno anual, consumo eléctrico por área anual, costo eléctrico por alumno anual, costo eléctrico por área anual, GEI emitidos por alumno anual, GEI emitidos por área anual, satisfacción de los alumnos con el confort térmico y satisfacción de los docentes con el confort térmico.

P3: ¿Cuál es el potencial de mejora en el consumo eléctrico anual al implementar un SGE en escuelas primarias?

Cada escuela presenta ahorros distintos según las AMDEN que se realice y un SGE no obliga a las organizaciones a implementar todas las acciones en un periodo determinado, por lo que el potencial de mejora está en función a las capacidades de las escuelas de invertir y comprometerse. Por lo anterior, el potencial de mejora puede ser de 33% al implementar acciones sin inversión para un sistema recién implementado y con pocos recursos hasta 79% si se llega a implementar todas las acciones posibles en un sistema maduro y con recursos suficientes.

Por último, refiriéndose a la evaluación económica, así como al efecto que cada AMDEN e interacción tiene sobre el consumo eléctrico, se llega a lo siguiente. La evaluación económica presenta diferentes resultados para cada sujeto de estudio. Sin embargo, el VAN resultante es positivo en todas las escuelas para las pruebas experimentales 3 y 4, las cuales son acciones sin costo por si sola y la interacción de acciones sin costo con el reemplazo de los sistemas de A.A. *de tipo minisplit*, respectivamente. El VAN de ninguna prueba que incluyera la AMDEN de aislamiento resultó positivo para las escuelas de un solo turno, Escuela 1 y Escuela 3. Solamente para las escuelas de turno mixto, Escuela 2 y Escuela 4, resulta positivo el VAN en alguna prueba que incluya aislamiento.

Por último, se agregan conclusiones individuales por plantel.

- Escuela 1:

El consumo del estado actual de esta escuela es el menor, debido a que tiene los 2 niveles bajos de los 2 factores. Además, es la escuela que presenta el menor potencial de ahorro eléctrico máximo anual, con el 55%. Dicha razón es debido a que las horas de uso de sus sistemas de A.A. se mantienen igual (se recuerda que no se estandarizó las acciones que cada escuela realiza), ya que esta escuela utiliza sus sistemas de A.A. en los horarios de clase únicamente, a diferencia de las de turno mixto.

- Escuela 2:

Esta escuela puede llegar a presentar un potencial de ahorro eléctrico anual máximo del 79%, uno de los mayores. Debido a que esta escuela es de turno mixto, el uso de los sistemas de A.A. consiste en dejarlos encendidos las 24 horas del día entre semana, incluso algunos en fin de semana, lo cual causa que el ahorro sea mayor al aplicar las AMDEn de acciones sin costo.

- Escuela 3:

La Escuela 3 presenta un uso de sus sistemas de A.A. similar al de la Escuela 1, debido al mismo turno matutino que tienen en común. Además de tener un potencial de ahorro máximo anual del 64%. Lo que difiere es el efecto estandarizado de la AMDEn de acciones sin costo, el cual es significativamente mayor. Tal variación se puede deber a los distintos usos y acciones que no fueron estandarizadas en dicha escuela. Sin embargo, observando la pequeña magnitud de la suma de cuadrados del error y comparándolo con la magnitud de los factores e interacciones, se desestima que este sea significativo y se atribuye a la variabilidad de las pruebas experimentales.

- Escuela 4:

La Escuela 4 resultó ser la única escuela cuyos algunos de los sistemas de A.A. se encuentran subdimensionados. Por lo cual algunos de sus sistemas de A.A. resultan ser de menor capacidad que la adecuada. Es la escuela que, junto con la Escuela 2, presentan un potencial de ahorro máximo anual similar, al ser este del 78%, por la razón del uso de los sistemas de A.A. Al ser de turno mixto, dejan sus sistemas encendidos

entre semana, incluso algunos equipos no cuentan con opción de apagado, dejándoseles encendidas durante toda la temporada de verano, incluso una parte de invierno. Por lo cual las AMDEn sin costo tienen un efecto significativo en su consumo eléctrico.

Para futuras investigaciones se recomienda lo siguiente:

- ❖ Se recomienda el realizar una investigación parecida con una muestra no probabilística similar, con el diseño de experimentos utilizado en la presente investigación, diseño factorial  $2^k$ , mismos dos factores (tipo de turno y número de salones de grupos) y dos niveles (matutino y mixto; 6 y 12, respectivamente), pero con tres réplicas, es decir, tres escuelas de una misma prueba experimental. Esto con la finalidad de validar los procedimientos, procesos y formatos utilizados en la presente investigación.
- ❖ Para otra investigación, se recomienda trabajar con una muestra probabilística para que sea posible el evaluar y realizar diagnósticos energéticos en un mayor número de escuelas, y no necesitar estandarizar los datos; para cumplir lo anterior dentro de un periodo de tiempo acorde a una investigación para obtención de un grado de maestría o doctorado, se recomienda elaborar un simulador que calcule el estado actual de las escuelas, con un ajuste de datos, así como una proyección que tome en cuenta las AMDEn a implementar, así como la reducción de la eficiencia de los sistemas de A.A., implementando la metodología que integra esta investigación, la cual incluye los procesos, procedimientos, documentos, cuestionarios, etc.
- ❖ También se sugiere consultar una muestra probabilística de los recibos eléctricos de las escuelas primarias ubicadas en la zona urbana de Mexicali y organizar de acuerdo con diseño de experimentos del tipo de escuelas, o en su caso, planteles. Esto con el fin de estandarizar el consumo, demanda eléctrica, características e indicadores de las escuelas de la zona urbana de Mexicali, así como calcular y estandarizar el potencial de mejora al aplicar la metodología propuesta, así como el SGEEn.

- ❖ Contando con la información del punto 3, para un futuro trabajo se puede estandarizar cuales deberían ser los índices energéticos de las escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali. Teniendo estos datos, se puede calificar cada escuela consultando su recibo eléctrico, y contando con los datos de área, número de salones y alumnos, construir sus índices y así evaluarla en base a su consumo eléctrico, con grados de A, B, C y D, donde A es el nivel más alto de desempeño energético y D es el más bajo. Con lo anterior se puede calificar a la escuela en base a su eficiencia energética, además de dar seguimiento a los procedimientos del SGEEn.
- ❖ En una futura investigación, para tomar en cuenta las necesidades que una zona no urbana requiere, se recomienda el trabajar con una zona que no sea urbana, tal como el Valle de Mexicali.
- ❖ Se recomienda separar el aislamiento de muros y techos. Si bien se puede considerar un factor el aislamiento de techo y otro el aislamiento de muros y evaluar el efecto en la variable de respuesta, otra recomendación es no considerar el aislamiento de muros dentro de los factores.

En lo referente a la investigación, se recomienda lo siguiente para lo relacionado al proyecto e implementación de AMDEN:

Debido a la significancia del efecto de la AMDEN de acciones sin costo, se recomienda emplear artefactos que garanticen la implementación de éstas. A pesar de que se consideran como acciones sin costo, el efecto que tienen en el ahorro eléctrico es tal, que se pueden emplear artefactos de bajo costo para asegurar la implementación de estas acciones. Ya que la aplicación de éstas recae al 100% en el recurso humano, siendo éstos los intendentes, docentes, alumnos y personal administrativo de las escuelas primarias, no se garantiza su implementación.

Por dicha razón, se sugiere emplear un aparato mecánico que cierre la puerta automáticamente, un controlador de la temperatura de los sistemas de A.A., así como apagado y encendido automático de éstos y de las luminarias. Además, al realizar la

evaluación económica, se observa que el VAN de los sistemas de A.A. de minisplit tiende a ser positivo contra el de paquete. Por lo que se recomienda instalar dichos sistemas en las aulas. Las encuestas arrojan que los docentes tienden a tener calor, mientras que los niños, tendían a sentir una temperatura confortable o incluso hasta frío dentro del salón de clases. Una recomendación para satisfacer ambas necesidades puede ser el colocar el flujo de aire de los sistemas de A.A. en lugares estratégicos. Uno directamente con el flujo de aire sobre el escritorio del docente, y los demás distribuidos por el salón de clases.

# Capítulo 7

## Referencias

- Al Faris, F., Juaidi, A. y Manzano-Agugliaro F. (2016). Improvement of efficiency through an energy management program as a sustainable practice in schools. *Journal of Cleaner Production*, 135, 794-805. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.172>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioners Engineers. (2009). *ASHRAE Handbook—Fundamentals. Handbook*. Owen, M. Atlanta, GA.
- Apriesnig, J.L., Manning, D.T., Suter, J. F., Magzamen, S. y Cross, J.E. (2020). Academic stars and Energy Stars, an assessment of student academic achievement and school building energy efficiency. *Energy Policy*, 147, 111-859. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111859>.
- Auffhammer, M & Mansur, E. (2014). Measuring climatic impacts on energy consumption: A review of the empirical literature. *Energy Economics*, 46, 522-530. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.04.017>
- Berke, P. & Manta, M. (1999). *Defining Sustainable Development*. Lincoln Institute of Land Policy. <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep18489.4.pdf>
- CENACE. (2023). Protocolo Correctivo 2024. [https://www.cenace.gob.mx/Docs/09\\_OPESEN/ProtocoloCorrectivoBCA2024/2023-11-22%20Convocatoria%20SIM%20BCA%20PC%202024.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/09_OPESEN/ProtocoloCorrectivoBCA2024/2023-11-22%20Convocatoria%20SIM%20BCA%20PC%202024.pdf)
- Chandan, V., Vishwanath, A., Zhang, M. & Kalyanaraman, S. (2015). Short Paper: Data Driven Pre-cooling for Peak Demand Reduction in Commercial Buildings. BuildSys '15: Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Built Environments. 187-190. <https://doi.org/10.1145/2821650.2821656>
- Chung, W. y Yeung. I. M. H. (2021). A two-stage regression-based benchmarking approach to evaluate school's energy efficiency in different tariff regions. *Energy for Sustainable Development*, 61, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.01.003>.
- Comisión Mundial Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común*.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (s.f.) *¿Qué hacemos?* <https://www.gob.mx/CONUEE/que-hacemos>.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2018) *Informe de desempeño anual 2018*. <https://www.CONUEE.gob.mx/transparencia/boletines/infomesdeactividades/Informe%20de%20actividades%202018.pdf>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía y Deutsche Gesellschaft für die Zusammen Arbeit, (2016). *Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía 2ª. Edición*.
- Comité de Normalización de la Asociación de Normalización y Certificación, A.C. y Comité Técnico de Normalización Nacional de Sistemas de Administración Ambiental del Instituto Mexicano de

- Normalización y Certificación, A.C. (2020). *Norma Mexicana Conjunta Ance-Imnc Sistemas De Gestión De La Energía - Requisitos Con Orientación Para Su Uso*.
- Decreto de 2008 [con fuerza de ley]. Por medio del cual se expide la Ley para el aprovechamiento sustentable de energía. 28 de noviembre del 2008.
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. (S.f.) *¿Quiénes somos?*  
<https://www.un.org/spanish/esa/desa/aboutus/dsd.html>
- Deutsche Gesellschaft für die Zusammenarbeit. (2015) *Benchmarking de Eficiencia Energética en Centros Médicos, Escuelas de Nivel Medio Superior de la Administración Pública Federal (APF) y Hoteles*.
- Deutsche Gesellschaft für die Zusammenarbeit. (2017). *Energía Sustentable*.  
<https://www.giz.de/en/worldwide/32936.html>
- Deutsche Gesellschaft für die Zusammenarbeit. (2018). *Escuelas bajas en emisiones* [Archivo PDF].  
[https://www4.unfccc.int/sites/PublicNAMA/\\_layouts/UN/FCCC/NAMA/Download.aspx?ListName=NAMA&Id=101&FileName=brochure%20NAMA%20Escuelas%20Bajas%20en%20Emisiones.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/PublicNAMA/_layouts/UN/FCCC/NAMA/Download.aspx?ListName=NAMA&Id=101&FileName=brochure%20NAMA%20Escuelas%20Bajas%20en%20Emisiones.pdf)
- Deutsche Gesellschaft für die Zusammenarbeit, (2022). *Introducción a los sistemas energéticos solidarios*. [Diapositiva de Power Point].
- Dias Pereira, L., Raimondo, D., Corgnati, S.P., Gameiro da Silva, M. (2014). Energy consumption in schools – A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 911-922.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.010>.
- Easterly, W. (2015). The Trouble with the Sustainable Development Goals. *Current History*, 114, (775), 322-324. 10.1525/curh.2015.114.775.322
- Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE). *Terminology on Statistical Metadata*. Conference of European Statisticians Statistical Standards and Studies, No. 53, Geneva, 2000.  
<https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=2547>
- Equipo Slow Fashion Next. (1, nov, 2020). *¿Qué es el informe Brundtland?*  
<https://www.slowfashionnext.com/blog/que-es-el-informe-brundtland/>
- Fawkes, S. (2001). *The History of Energy Management*. <http://www.vesma.com/thefivep.htm>
- Fawkes, S. (1987). Soft-Systems Model of Energy Management and Checklists for Energy Managers. *Applied Energy*, (27), 229-241.
- Ferrer-Estévez, M. y Chalmeta, R. (2021). Integrating Sustainable Development Goals in educational institutions. *The International Journal of Management Education*, 19, (2).  
<https://doi.org/10.1016/j.ijme.2021.100494>.
- Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. (s.f.). *¿Qué es el FIDE?*  
[https://www.fide.org.mx/?page\\_id=14731](https://www.fide.org.mx/?page_id=14731)
- Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. (Julio de 1997). *Acciones para Promover una Cultura de Ahorro de Energía Eléctrica*. [https://www.fide.org.mx/?page\\_id=37145](https://www.fide.org.mx/?page_id=37145)

- Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica. (Mayo, 1993). ¿Qué es un diagnóstico energético?  
[https://www.fide.org.mx/?page\\_id=39580](https://www.fide.org.mx/?page_id=39580)
- García Cueto O.R., Santillán Soto N., Quintero Núñez M., Ojeda Benítez S., Velázquez Limón N. (2013). Extreme temperature scenarios in Mexicali, Mexico under climate change conditions. *Atmósfera*, 26(4), 509-520. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71092-0](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71092-0).
- Gobierno de Baja California. (2022). *Plan Estatal de Desarrollo de Baja California 2022-2027*. [Archivo PDF]. <https://www.bajacalifornia.gob.mx/Documentos/coplade/PED%20BC%20Completo%20110522.pdf>
- Gutierrez y de la Vara. (2017). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw Hill.
- Institute of the Americas (2019). *Baja California Energy Outlook 2020-2025*. [https://iamericas.org/wp-content/uploads/2022/02/Baja\\_Energy\\_Outlook\\_2020\\_2025.pdf](https://iamericas.org/wp-content/uploads/2022/02/Baja_Energy_Outlook_2020_2025.pdf)
- International Energy Agency (2019). *Energy Efficiency 2019*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>
- International Energy Agency (2020a). *Energy Efficiency 2020*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>.
- International Energy Agency (2020b). *Recommendations of the Global Commission for Urgent Action on Energy Efficiency*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/recommendations-of-the-global-commission-for-urgent-action-on-energy-efficiency>
- International Energy Agency (2024). *CO<sub>2</sub> Emissions in 2023*. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>
- Hendron, R. (2006). *Building America Performance Analysis Procedures for Existing Homes*. Boulder, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-550-3832.
- Hernández, E. (2009). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. Limusa.
- Jacob, A. (2017). Mind the Gap: Analyzing the Impact of Data Gap in Millennium Development Goals' (MDGs) Indicators on the Progress toward MDGs. *World Development*, 93, 260-278, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.016>.
- Martinez-Molina, A., Boarin, P., Tort-Ausina, I. y Vivancos, J.L. (2017). Post-occupancy evaluation of a historic primary school in Spain: Comparing PMV, TSV and PD for teachers' and pupils' thermal comfort. *Building and Environment*, 117, 248-259. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.010>.
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/70/L.1&Lang=S](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/70/L.1&Lang=S)
- Naciones Unidas México. (s.f.) *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. <https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-de-desarrollo-del-milenio/>
- Okubo, K., Yu, J., Osanai, S., Serrona, K., R., B. (2021). Present issues and efforts to integrate sustainable development goals in a local senior high school in Japan: A case study. *Journal of Urban Management*, 10(1), 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.02.002>.
- Organización Internacional de Energía atómica (2008). *Indicadores energéticos de desarrollo sostenible: directrices y metodología*. (pp 2). Sección editorial OIEA.

- Pietrapertosa, F., Tancredi, M., Salvia, M., Proto, M., Pepe, A., Giordano, M., Afflitto, N., Sarricchio, G., Di Leo, S., Cosmi, C. (2021). An educational awareness program to reduce energy consumption in schools. *Journal of Cleaner Production*, 278.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123949>.
- Periódico oficial del Estado de Baja California (2017). *Presupuesto de Ejercicio Fiscal 2017*.  
<https://periodicooficial.ebajacalifornia.gob.mx/oficial/mostrarDocto.jsp?nombreArchivo=Periodico-3-CXXIV-2017113-SECCI%C3%93N%20IV.pdf&sisistemaSolicitante=PeriodicoOficial/2017/Enero>
- Pogge, T. y Sengupta, M. (s.f.) A Critique of the Sustainable Development Goals' Potential to Realize the Human Rights of All: Why being better than the MDGs is not good enough. *Social Policy and the Transformative Potential of the SDGs, special issue of the Journal of International and Comparative Social Policy*.
- Programa de Ahorro Sistemático Integral. (s.f.). *FIPATERM*.  
<https://programaasi.mx/nosotros>
- Programa de Ahorro Sistemático Integral. (s.f.). *Aislamiento térmico*.  
<https://programaasi.mx/programa/1>
- Rivas, L. (2017). *Elaboración de Tesis. Estructura y metodología*. Trillas.
- Salleh, M., Kandar, M., Sakip, S. (2016). Benchmarking for Energy Efficiency on School Buildings Design: A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 222, 211-218.  
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.149>.
- Samuels, J.A. y Booyesen, M.J. (2019). Chalk, talk, and energy efficiency: Saving electricity at South African schools through staff training and smart meter data visualisation. *Energy Research & Social Science*, 56.  
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.05.022>.
- Secretaría de Energía. (2022). Balance Nacional de Energía 2022 (2022).
- Secretaría de Energía. (2022). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2022-2036.
- Secretaría de Energía & Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía. (2018). *Normas Mexicanas Oficiales de Eficiencia Energética: Balance al 2018*. (pp 3).
- Suástegui Macías, J.A., Pérez Tello, C. , Acuña Ramírez, A., Lambert Arista, A.A., Magaña Almaguer, H.D., Rosales Escobedo, P.F., Ruelas Puente, A.H. Assessment of electrical saving from energy efficiency programs in the residential sector in Mexicali, Mexico. *Sustainable Cities and Society* 2018; 39: 795-805.
- Swain. (2017). *A Critical Analysis of the Sustainable Development Goals*. Available from:  
[https://www.researchgate.net/publication/320291340\\_A\\_Critical\\_Analysis\\_of\\_the\\_Sustainable\\_Development\\_Goals](https://www.researchgate.net/publication/320291340_A_Critical_Analysis_of_the_Sustainable_Development_Goals)
- Tecnológico nacional de México. (16 de abril de 2021). *Diseñan estudiantes poblanos plataforma informática para optimizar energía*. <https://www.tecnm.mx/?vista=noticia&id=1385>

- Tejeda Martínez, A., Conde-Álvarez, C., Valencia-Treviso, L. E. (2008). Climate change scenarios of extreme temperatures and atmospheric humidity for México. *Atmósfera [en línea]*, 21(4), 357-372. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56512095004>
- U.S. Energy Information Administration. (2018). *How much energy is consumed in U.S. residential and commercial buildings? - FAQ - U.S. Energy Information Administration (EIA) [WWW Document]*. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=86&t=1>
- Vargas Galván, G. A., Valverde Granja, A. (2017). Programa piloto para la gestión energética en instituciones educativas del departamento del Tolima. *Teknos Revista Científica*, 17 (1), 47 - 58. <https://doi.org/10.25044/25392190.886>
- Vidal Medina, J.R., Prias Caicedo, O., Campos Avella, J.C., Quispe, E.C., Tovar Ospino, I. (2007). *Modelos De Gestion Energetica. Un Análisis Crítico*.
- Yeager, K., Dayo, F., Fisher, B., Fouquet, R., Gilau, A., Rogner, H., Haug, M., Hosier, R., Miller, A. y Schnitteger, S. (2012). Energy and economy. Lustig, N. (Ed.), *Toward a sustainable Future* (pp 385-421). Cambridge University Press. [https://iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA\\_Chapter6\\_economy\\_lowres.pdf](https://iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter6_economy_lowres.pdf)
- Zhang, A., Bokel, R., van den Dobbelsteen, A., Sun, Y., Huang, Q., Zhang, Q. (2017). An integrated school and schoolyard design method for summer thermal comfort and energy efficiency in Northern China. *Building and Environment*, 124, 369-387. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.024>.
- Zheng, J., Dang., Y. & Assad, U. Household energy consumption, energy efficiency, and household income—Evidence from China. *Applied Energy*. (353). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122074>

## ANEXO I

*Tabla 6.1. NOM-ENER y Subprograma ASI empleados en la investigación con su objetivo y aplicación en ella.*

NOM-ENER	Objetivo	Aplicación
NOM-007-ENER-2014. Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios.	“Esta Norma Oficial Mexicana tiene como finalidad establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales, nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes; con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación de recursos energéticos y la ecología de la Nación. Comprende los sistemas de alumbrado interior y exterior con carga total conectada para alumbrado mayor o igual a 3 kW, particularmente para ciertos edificios, dentro de los cuales se encuentran escuelas y demás centros docentes”, (NOM-007-ENER-2014, 2014).	Establecer la DPEA de las escuelas y verificar si el valor cumple con la NOM.
NOM-008-ENER-2001. Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.	“Esta Norma limita la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento”, (NOM-008-ENER-2001, 2001). Si se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente hasta los límites de ésta, o más allá de los límites de ésta, una distancia menor a la proyección del volado (L), se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior de la figura 3.2 (NOM-008-ENER-2001, 2001).	Determinar si el muro que cuenta con volado tiene sombreado.
NOM-011-ENER-2006. Eficiencia Energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido.	“Esta Norma Oficial Mexicana establece el mínimo nivel de Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE) que deben cumplir los acondicionadores de aire tipo central; especifica además los métodos de prueba que deben usarse para verificar dicho cumplimiento y define los requisitos que se deben de incluir en la etiqueta de información al público”, (NOM-011-ENER-2006, 2006).	Determinar si la eficiencia de los sistemas de A.A. de las escuelas cumplen con lo señalado.
NOM-023-ENER-2018. Eficiencia Energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y son conductos de aire.	“La presente Norma Oficial Mexicana establece el nivel mínimo de Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE) que deben cumplir los acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos; establece además los métodos de prueba que deben usarse para verificar dicho cumplimiento y define los requisitos que se deben de incluir en la etiqueta de información al público”, (NOM-023-ENER-2018).	Determinar si la eficiencia de los sistemas de A.A. de las escuelas cumplen con lo señalado.
Subprograma ASI	Objetivo	Aplicación
Aislamiento térmico	Promueve espesores en el aislamiento térmico que permite un mayor ahorro energético en la vivienda.	Determinar si la resistencia térmica del aislante coincide.

## ANEXO II

Se anexa el formato utilizado para recabar los datos de las características constructivas de las escuelas.

<b>Características constructivas</b>									
Escuela: _____				Salón: _____					
<b>Orientación muros</b>									
Punto cardinal	Longitud (m)	Altura (m)	Área ventanas (m <sup>2</sup> )	Área puertas (m <sup>2</sup> )	Asoleamiento directo	Pared interior	Tipo de muro		
Norte									
Sur									
Este									
Oeste									
Tipo de construcción: _____									
Antigüedad A.A.: ____ Área climatizada: ____ m <sup>2</sup> Factor de uso: ____ Horario/uso: ____ Temperatura: ____ (°F/°C)									
Ubicación	Tipo	Marca	Capacidad (BTU)	Potencia (W)	REEE (Wt/We)	Refrigerante		Operación hrs/año	Antigüedad Años
						Tipo	Cantidad (kg)		
<b>Muros</b>									
Norte		Sur		Este		Oeste			
Material principal: _____		Material principal: _____		Material principal: _____		Material principal: _____			
Espesor: ____ (in/cm)		Espesor: ____ (in/cm)		Espesor: ____ (in/cm)		Espesor: ____ (in/cm)			
Otros materiales: _____		Otros materiales: _____		Otros materiales: _____		Otros materiales: _____			
Aislamiento: _____		Aislamiento: _____		Aislamiento: _____		Aislamiento: _____			
Espesor: ____ (in/cm)		Espesor: ____ (in/cm)		Espesor: ____ (in/cm)		Espesor: ____ (in/cm)			
<b>Techo</b>									
¿Color oscuro?	¿Color aluminio?	¿Pintura reflectiva?	¿Planta baja o intermedia?	¿Película reflectiva en ventanas?	¿Hay buen sellado de puertas y ventanas?				
Formato elaborado por la Ing. Ada Josefina Torres para el proyecto de maestría "Metodología para el diagnóstico energético y diseño de un Sistema de Gestión de la Energía en escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C.".									

Tipo de techo: \_\_\_\_\_  
 Características del techo  
 Material principal: \_\_\_\_\_  
 Condiciones y materiales adicionales: \_\_\_\_\_  
 Tipo de aislamiento: \_\_\_\_\_ Espesor (poliestireno/poliuretano): \_\_\_\_\_ (in/cm)

**Motores**

ID	V	I	W	RPM	Marca	Modelo	Horas/año	Eficiencia	Antigüedad

**Bombeo**

Equipo de bombeo											Motor				Horas	Aplicación	
ID	Marca	Modelo	Tipo	Tamaño	No. serie	Presión max	HP	Gasto	Carga	RPM	HP	V	A	RPM			

**Luminarias**

Modelo: \_\_\_\_\_ Demanda: \_\_\_\_\_ No. Focos: \_\_\_\_\_ Horario de uso: \_\_\_\_\_ Tipo: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ocupantes: \_\_\_\_\_ Horario: \_\_\_\_\_

Equipos: \_\_\_\_\_ Demanda: \_\_\_\_\_ Uso: \_\_\_\_\_ Nota adicional: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Notas adicionales:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Formato elaborado por la Ing. Ada Josefina Torres para el proyecto de maestría "Metodología para el diagnóstico energético y diseño de un Sistema de Gestión de la Energía en escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C.".

### ANEXO III

Se anexa el formato de la encuesta aplicada a alumnos con las preguntas utilizadas.

Escuela: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Género: \_\_\_\_\_

Buen día, mi nombre es Ada Josefina Ordaz, soy estudiante de posgrado en la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente me encuentro desarrollando el proyecto de maestría "Metodología para el diagnóstico energético y diseño de un Sistema de Gestión de la Energía en escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C.", para lo cual contar con tu valioso apoyo sería de mucha ayuda para realizar esta investigación. Por lo anterior te pido contestar las siguientes preguntas de la manera más honesta.

Agradezco mucho tu tiempo y participación en esta fase del proyecto.

INSTRUCCIONES: Encierra la carita con la que te identifiques más.

**Opinión:**



Totalmente de acuerdo



De acuerdo



Ni de acuerdo ni en desacuerdo



En desacuerdo



Totalmente en desacuerdo

¿Crees que a las autoridades educativas (SEP, gobierno) les preocupa tu bienestar y confort térmico (que no tengas calor ni frío) dentro del salón de clases?



¿Tu maestro te enseña sobre ahorrar energía en el salón?



¿Estás contento con el sistema de A.C. de tu salón?



¿Tu maestro te enseña sobre el medio ambiente y sostenibilidad?



¿Qué tanto conoces sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible?



Algún comentario que desees mencionar:

---

---

---

¡Gracias por tu apoyo!

Formato elaborado por la Ing. Ada Josefina Torres para el proyecto de maestría "Metodología para el diagnóstico energético y diseño de un Sistema de Gestión de la Energía en escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C.".

## ANEXO IV

Se anexa el formato de la encuesta aplicada a docentes con las preguntas utilizadas.

Escuela: \_\_\_\_\_ Grupo: \_\_\_\_\_ Género: \_\_\_\_\_

Buen día, mi nombre es Ada Josefina Ordaz, soy estudiante de posgrado en la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente me encuentro desarrollando el proyecto de maestría "Metodología para el diagnóstico energético y diseño de un Sistema de Gestión de la Energía en escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C.", para lo cual contar con su valioso apoyo sería de mucha ayuda para realizar esta investigación. Por lo anterior le pido contestar las siguientes preguntas de la manera más honesta. Agradezco mucho su tiempo y participación en esta fase del proyecto.

INSTRUCCIONES: Subraye la respuesta con la que se sienta más cómodo.

¿Opina que las autoridades (SEP, Inife) se preocupan porque los ocupantes del edificio tengan un nivel satisfactorio de confort térmico (sensación que experimentan las personas cuando no sienten ni frío ni calor respecto al ambiente)?

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Neutral
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

¿Desarrolla planes para el ahorro energético del salón de clases?

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Neutral
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

¿Está satisfecho con el estado y funcionamiento del sistema de A.C. de su salón de clases?

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Neutral
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

¿Le enseña a sus alumnos sobre el medio ambiente y sostenibilidad?

- Completamente de acuerdo
- De acuerdo
- Neutral
- En desacuerdo
- Completamente en desacuerdo

¿Le ha hablado a sus alumnos sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible?

- Sí
- No

Algún comentario que desee mencionar:

---

---

---

Formato elaborado por la Ing. Ada Josefina Torres para el proyecto de maestría "Metodología para el diagnóstico energético y diseño de un Sistema de Gestión de la Energía en escuelas primarias de la zona urbana de Mexicali, B.C.".

## ANEXO V

Fotografías tomadas en el proceso de toma de datos.



*Figura 10.1. Conexión de analizador de redes a centro de carga de escuela.*



*Figura 10.2 Proceso de conexión.*



*Figura 10.3. Entrevistas a ocupantes del edificio.*