

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE METODOLOGÍA PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO**

PRESENTADO POR:

JEAN CARLO GARCIA RIVERA

BYRON ENRIQUE MONTERROZA HERRERA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL :

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA

SECRETARIO :

Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO DE METODOLOGÍA PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO**

Presentado por :

JEAN CARLO GARCIA RIVERA

BYRON ENRIQUE MONTERROZA HERRERA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. Miguel Tomás Amaya Gómez

San Salvador, julio de 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. Miguel Tomás Amaya Gómez.

DISEÑO DE METODOLOGÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

Estudiantes: Br. Jean Carlo Garcia Rivera¹, Br. Byron Enrique Monterroza Herrera²

Docente Asesor: Ing. Miguel Tomás Amaya Gómez³

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador

Resumen

Se ha diseñado una metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética en sistemas de aire comprimido, considerando que este es una de las fuentes de energía más utilizadas en la industria. La metodología contempla el mejoramiento de la eficiencia energética a través de la gestión, entre los puntos de análisis de ésta están las fugas de aire comprimido, las pérdidas de presión, usos inadecuados y el mantenimiento de los sistemas de aire comprimido. Se realizó con el fin de brindar una herramienta de fácil aplicación en la mayoría de sistemas de aire comprimidos. La metodología permitirá establecer ahorros energéticos y monetarios para las distintas medidas.

Palabras clave: Eficiencia energética, sistemas de aire comprimido, gestión, ahorro.

¹ gr16018@ues.edu.sv

² mh16010@ues.edu.sv

³ miguel.amaya2@ues.edu.sv

ÍNDICE

	Pág.
1. ANTECEDENTES	8
1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LEGISLACIÓN SALVADOREÑA	8
1.1.1 Sostenibilidad y eficiencia energética	9
1.1.2 Línea base e indicadores de eficiencia energética	14
1.1.3 Control de eficiencia por gestión y por tecnología	18
1.1.4 Sistemas de Gestión Energética (SGE)	23
1.1.5 Política energética de El Salvador	28
1.2 AIRE COMPRIMIDO. APLICACIONES, ESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO	38
1.2.1 Aire comprimido en la industria	40
1.2.2 Estructura y equipamiento de los sistemas de aire comprimido	43
1.2.3 Problemas comunes en sistemas de aire comprimido	60
1.2.4 Costes del aire comprimido	65
1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AIRE COMPRIMIDO	67
1.3.1 Control de fugas	69
1.3.2 Control de aspiración del aire	74
1.3.3 Recuperación de la energía térmica	75
1.3.4 Control de la presión en la red de distribución	77
1.3.5 Control de tiempos muertos de trabajo en vacío de los compresores	79
1.3.6 Empleo de compresores eficientes	80
1.3.7 Control de la velocidad de los compresores	80

	Pág.
1.3.8 Control de la demanda artificial	81
1.3.9 Monitorización automática del compresor.....	82
1.3.10 Control sobre las aplicaciones inadecuadas	85
2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO.....	87
2.1 Preparación y recopilación de la información	87
2.2 Análisis del proceso de producción	89
2.3 Medición y recogida de datos.....	90
2.4 Contabilidad energética y línea base	97
2.5 Medidas de eficiencia energética	100
2.6 Redacción del informe final.....	122
2.7 Guía para la implementación de la metodología	123
3. FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	143
3.1 Financiamiento de un proyecto de E.E en El Salvador.....	146
3.2 Anteproyecto de eficiencia energética.....	147
3.3 Planeación del proyecto.....	150
3.4 BANDESAL – Fondo de Asistencia Técnica	154
3.5 BANDESAL – Línea de crédito	157
3.6 Fondo de Desarrollo Productivo – Línea de crédito.....	159
3.7 Banco Atlántida.....	163
4. IMPACTO AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	167
4.1 Gases de Efecto Invernadero.....	170
5. CASO PRACTICO	174
CONCLUSIONES	219

	Pág.
RECOMENDACIONES.....	221
GLOSARIO.....	224
REFERENCIAS.....	226
BIBLIOGRAFIA.....	227
ANEXOS.....	230

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Línea base de consumo de energía	15
Figura 2. Metas trazadas por la Dirección de Eficiencia Energética	32
Figura 3. Esquema de una red de distribución de aire comprimido	44
Figura 4. Clasificación de compresores	45
Figura 5. Compresores de desplazamiento positivo	46
Figura 6. Compresor de cilindros	46
Figura 7. Compresor centrífugo	47
Figura 8. Compresor axial	47
Figura 9. Red de distribución abierta	49
Figura 10. Red de distribución cerrada	50
Figura 11. Enfriador aire – agua	53
Figura 12. Enfriador aire – aire	54
Figura 13. Arreglo de enfriador y separador de humedad	55
Figura 14. Unidad de mantenimiento FRL.....	58
Figura 15. Tanque de almacenamiento de aire comprimido	60
Figura 16. Diagrama de Sankey de distribución energética de un compresor	68
Figura 17. Fugas vs Sección del orificio para distintas presiones	70
Figura 18. Métodos de detección de fugas	73
Figura 19. Diagrama de Sankey de flujo térmico en un compresor	76
Figura 20. Etapas de guía metodológica.....	87
Figura 21. Índice de aire comprimido	100
Figura 22. Toma de aire del exterior y escape al exterior	109
Figura 23. Toma de aire y escape al interior.	109
Figura 24. Toma de aire al interior y escape al exterior.....	109
Figura 25. Pasos a seguir para la ejecución de un proyecto de eficiencia energética.....	148
Figura 26. Diagnóstico energético de primer nivel	152
Figura 27. Diagnóstico energético de segundo nivel	153

	Pág.
Figura 28. Proceso de aplicación FONDEPRO	161
Figura 29. Documentos a presentar para Fast track	162
Figura 30. Documentos a presentar para proyectos	163
Figura 31. Pasos para tramitar un crédito	165
Figura 32. Créditos para muy pequeña empresa	165
Figura 33. Créditos para media empresa	166
Figura 34. Créditos para pequeña empresa	166
Figura 35. Equivalencias de gases de efecto invernadero	173
Figura 36. Compresor Kaeser BSD 50.....	176
Figura 37. Secador CompAir.....	177
Figura 38. Tanque de almacenamiento.....	177
Figura 39. Distribución sistema de aire comprimido	180
Figura 40. Proceso productivo	181
Figura 41. Actuador Fisher para damper de tiro inducido.....	187
Figura 42. Actuador Masoneilan para válvula de retorno de 3"	187
Figura 43. Actuador Bray para válvula de vapor de meladores de 18"	188
Figura 44. Actuador Fisher para válvula de alivio de presión de deaireador de 5"	188
Figura 45. Sala de compresores	206
Figura 46. Configuración recomendada	206
Figura 47. Posible posición de escape de aire	207
Figura 48. Bombas de diafragma para floculante.....	208
Figura 49. Salida de aire comprimido - Limpieza de personal	209
Figura 50. Salida de aire comprimido - Limpieza de equipos	210
Figura 51. Refrigeración de bomba.....	211
Figura 52. Equivalencia de gases de efecto invernadero	217

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Contribuciones al coste de producción	67
Gráfico 2. Componentes estimados de la demanda.....	69
Gráfico 3. Diámetro vs % De pérdidas	106
Gráfico 4. Línea base.....	141
Gráfico 5. Índice de aire comprimido.....	141
Gráfico 6. Línea base actual	197
Gráfico 7. IAC actual.....	197
Gráfico 8. Diámetro vs % De perdidas	203
Gráfico 9. Línea base aplicadas las mejoras.....	215
Gráfico 10. IAC aplicadas las mejoras	215

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de CCAF según el tipo de control usado.	101
Tabla 2. Datos generales de la empresa.....	127
Tabla 3. Información compresor.....	128
Tabla 4. Información secador.....	128
Tabla 5. Información tanques de almacenamiento.....	128
Tabla 6. Información enfriadores.....	129
Tabla 7. Tiempos de funcionamiento	129
Tabla 8. Determinación del consumo de aire comprimido	130
Tabla 9. Estimación de fugas método on-off	131
Tabla 10. Estimación de fugas método manómetro a la salida	131
Tabla 11. Determinación de la presión mínima de seteo.....	132
Tabla 12. Cargos de la energía eléctrica.....	133
Tabla 13. Análisis del consumo de energía.....	133
Tabla 14. Tabla resumen del consumo de energía	134
Tabla 15. Medida de eficiencia energética reducción de fugas	134
Tabla 16. Tabla resumen - Reducción de fugas.....	135
Tabla 17. Ahorro monetario - Reducción de fugas	135
Tabla 18. Medida de eficiencia energética reducción de presión	135
Tabla 19. Tabla resumen - Reducción de presión.....	136
Tabla 20. Ahorro monetario - Reducción de presión	136
Tabla 21. Medida de eficiencia energética reducción temperatura.....	136
Tabla 22. Tabla resumen - Reducción temperatura	137
Tabla 23. Ahorro monetario - Reducción temperatura.....	137
Tabla 24. Guía de inspección	138
Tabla 25. Análisis de contabilidad energética	140
Tabla 26. Ahorro monetario aplicación de medidas de eficiencia energética	141
Tabla 27. Ventanillas autorizadas por BANDESAL	155
Tabla 28. Financiamiento en proyectos por BANDESAL	157
Tabla 29. Documentación solicitada por BANDESAL	158

	Pág.
Tabla 30. Datos generales de la empresa.....	175
Tabla 31. Información compresor.....	175
Tabla 32. Información secador.....	176
Tabla 33. Información tanque de almacenamiento.....	176
Tabla 34. Horas de operación - Compresor	178
Tabla 35. Horas de operación - Secador.....	178
Tabla 36. Proceso productivo	179
Tabla 37. Usuarios finales de aire comprimido.....	183
Tabla 38. Consumo de aire comprimido de los usuarios finales.....	185
Tabla 39. Datos de entrada para estimación de fugas	189
Tabla 40. Resultados de la estimación de fugas	190
Tabla 41. Datos de entrada para estimación de presión de seteo - Caso 1	190
Tabla 42. Resultados de la estimación de presión de seteo - Caso 1	190
Tabla 43. Datos de entrada para estimación de presión de seteo - Caso 2	192
Tabla 44. Resultados de la estimación de presión de seteo - Caso 2	192
Tabla 45. Datos de entrada para estimación de presión de seteo - Caso 3	193
Tabla 46. Resultados de la estimación de la presión de seteo - Caso 3.....	193
Tabla 47. Temperaturas de la sala de compresores	194
Tabla 48. Cargos de energía eléctrica	194
Tabla 49. Costos actuales del consumo de energía.....	195
Tabla 50. Análisis del consumo de energía.....	196
Tabla 51. Ahorro energético - Reducción de fugas	198
Tabla 52. Ahorro monetario - Reducción de fugas	199
Tabla 53. Ahorro energético - Reducción de la presión.....	201
Tabla 54. Ahorro energético - Reducción de la presión.....	202
Tabla 55. Ahorro energético - Reducción temperatura.....	205
Tabla 56. Ahorro monetario - Reducción de temperatura.....	205
Tabla 57. Guía de inspección para sistema de aire comprimido	211
Tabla 58. Análisis del consumo de energía aplicadas las mejoras.....	214
Tabla 59. Ahorro monetario aplicadas las mejoras	216

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es una de las formas de almacenamiento y aprovechamiento de energía más utilizadas en la actualidad, de hecho, más del 10% de la energía suministrada en la industria es destinada para la producción de aire comprimido. La demanda de este recurso es a causa de su versatilidad, facilidad de transporte, seguridad, limpieza, fácil almacenamiento y su capacidad para realizar una amplia gama de tareas como fluido refrigerante, activador de herramientas neumáticas y de diversos sistemas de control.

Debido al valioso servicio que este recurso representa y, mientras no haya un sustituto justificable, es necesario aplicar mejoras en el manejo de los sistemas de aire comprimido (CAS's) con el objetivo de obtener el mayor beneficio posible reduciendo el consumo de energía lo que a su vez representa una reducción en los recursos invertidos para la producción de energía, dicha reducción también tiene una repercusión importante en el medio ambiente.

La eficiencia energética juega un papel importante en el desarrollo de técnicas que permitan disminuir los consumos energéticos en las aplicaciones de aire comprimido dotando a la empresa de herramientas necesarias para el cumplimiento de su responsabilidad ambiental reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

ANTECEDENTES

La eficiencia energética es uno de los temas más recurrentes de la actualidad, algunas instituciones, empresas o asociaciones han tomado a bien desarrollar proyectos enfocados hacia este tema de alto interés, aunque cabe aclarar que no existen con un enfoque hacia los sistemas de aire comprimido. Pero a pesar de no tener un enfoque dirigido a estos sistemas, los distintos proyectos tratan de aportar a una mejora continua de cualquier proceso o sistema dentro de las industrias. Algunos ejemplos de estos son:

- 1) Asociación Salvadoreña de Industriales (2011): Programa de eficiencia. El objetivo de este es capacitar a las empresas a identificar, evaluar e implementar medidas de eficiencia energética, entre sus enfoques estaba el aire comprimido.
- 2) Banco Interamericano de Desarrollo (2011): Metodología de eficiencia energética en la industria. Con esta pretendía brindar una herramienta de fácil aplicación para la ejecución de auditorías energéticas en sus instalaciones.
- 3) AES (2019): Curso de eficiencia energética. En esta se brindaron conocimientos que permiten hacer un uso más eficientes de los recursos disponibles en las empresas.
- 4) SICA (2015): Programa de energías renovables y eficiencia energética. El principal objetivo fue ampliar conocimientos para diseñar, instalar y operar sistemas de aire comprimido.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según evaluaciones técnicas se sabe que la forma en que se distribuyen los costos de un sistema de aire comprimido durante toda su vida útil son: 73% de energía eléctrica, 18% de inversión, 7% de mantenimiento y 2% de refrigeración [1]. Lo anterior denota que la mayor parte de los costos corresponde a la energía eléctrica demandada por el compresor y los distintos elementos que componen el sistema, es por ello por lo que se vuelve fundamental aprovechar tanto como sea posible la energía que el sistema está consumiendo, es este el objetivo de las medidas de eficiencia energética.

Las áreas de mantenimiento no prestan la misma atención a los problemas vinculados en la generación de aire comprimido que a otros relacionados con la productividad, por ejemplo, debido a que los CAS's no producen suciedad, residuos o en muchos casos pasan desapercibidos. El único momento donde los CAS's reciben atención es cuando las pérdidas de aire y presión afectan al funcionamiento normal del proceso.

Con lo anterior se entiende que en instalaciones de aire comprimido, a menudo hay posibilidades significativas y no identificadas de ahorro energético, entre ellas: reducción de la presión, reducción de fugas, optimización de las operaciones mediante la elección de un correcto sistema de control y regulación, así como la elección de la capacidad y el tipo no solo del compresor sino que también de los elementos que componen el sistema de aire comprimido.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

OBJETIVO GENERAL:

- ✓ Diseñar una metodología que permita identificar y evaluar las oportunidades de ahorro energético en sistemas de aire comprimido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Establecer los parámetros que determinan la eficiencia de los sistemas de aire comprimido.
- ✓ Identificar las oportunidades de ahorro energético.
- ✓ Detallar técnicas orientadas al incremento de la eficiencia energética en sistemas de aire comprimido.
- ✓ Establecer estudios económicos pertinentes para definir la rentabilidad de las medidas.

ALCANCES

- ✓ Desarrollar una metodología que puedan aplicar las empresas que cuenten con un sistema de aire comprimido.
- ✓ Que la metodología sea una herramienta para identificar oportunidades de ahorro energético en los sistemas aire comprimido.
- ✓ La aplicación de la metodología diseñada está enfocada en la eficiencia energética por gestión.

LIMITACIONES

- ✓ Acceso a información por parte de las instituciones nacionales como bancos en tema de financiamiento u empresas en aspectos técnicos.
- ✓ Disponibilidad de las normas internacionales referentes al tema de eficiencia energética como ISO 50001 o UNE 216501.
- ✓ Debido a la situación pandémica actual las visitas técnicas a empresas que cuenten con sistemas de aire comprimido son demasiado restringidas.

JUSTIFICACIÓN

Las empresas de todo el mundo dependen del aire comprimido para producir sus productos y muchas de estas compañías lo consideran tan importante como la electricidad o el agua, debido a esto, medir el consumo de energía eléctrica de todo el sistema de aire comprimido es tan relevante para ellas. La producción eficiente del aire comprimido podría generar altos ahorros para la empresa, consecuencia de lo anterior el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) #7 “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y segura” en la meta 7.3 enuncia que “De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética” [2]. Por lo anterior existe la necesidad de mejorar la eficiencia energética en sistemas industriales como el aire comprimido.

El desarrollo de una metodología para mejorar la eficiencia energética representa un salto de calidad para cualquier aplicación y considerando que el consumo de energía eléctrica representa más del 70% de la inversión del sistema de aire comprimido, optimizar el uso de dicha energía se vuelve una necesidad. Un mayor ahorro de energía y un aumento en la eficiencia energética de los CAS's pueden garantizar otros beneficios no energéticos como lo son el aumento de la productividad, mejora en la calidad de los productos y menor frecuencia de mantenimiento. Además se contribuye ampliamente en la preservación del medio ambiente, evitando de esta manera el cambio climático.

1. ANTECEDENTES

1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LEGISLACIÓN SALVADOREÑA

El mundo se ha desarrollado basándose en la obtención de energía eléctrica procedente de los combustibles fósiles. A partir de la revolución industrial, a finales del siglo XVIII, el consumo de energía se incrementa exponencialmente, siendo inicialmente el carbón y el gas los más usados.

Los factores que más han influido en el aumento de la demanda energética han sido:

- El crecimiento demográfico que durante el siglo XX ha experimentado el planeta, pasando de unos 1,500 millones a principios de siglo a más de 6,000 millones de habitantes a finales, incremento que no cesa superando actualmente los 7,000 millones.
- El crecimiento del nivel de confort demandado por la sociedad, cuyo aumento lleva parejo un incremento de la demanda energética.
- La incorporación del petróleo como combustible más usado a partir de 1964, el desarrollo de la industria de manufactura, transportes, alimentación y cualquier otro tipo de bienes de consumo.

No es hasta 1973, con la crisis del petróleo, cuando este modelo de progreso no recibe su primer gran revés. El mundo se vuelve consciente del futuro agotamiento de los recursos naturales y se busca diversificar las fuentes de energía, lo que conlleva a un auge de las centrales nucleares. La fuerte demanda de energía no hace más que

incrementarse, que ayudado por las intensas deforestaciones; accidentes nucleares (Chernóbil en 1986); las economías emergentes que disparan el consumo de energía y más recientemente el denominado calentamiento global, hace que aparezca un nuevo concepto: la sostenibilidad.

El origen de la palabra sostenibilidad se sitúa en 1987 con el informe socioeconómico Brundtland elaborado para la ONU, donde se utilizó por primera vez el término desarrollo sostenible, definido como “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”.

En la actualidad, en la gran parte de los países, ya se tiene consciencia de las necesidades de ahorro de energía. Comienza a ser común el uso de fuentes de energía alternativa consideradas más limpias, como la energía solar, eólica o la biomasa, además de las ya conocidas fuentes renovables.

1.1.1 SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

El consumo eficiente de energía se ha convertido en uno de los grandes retos de una sociedad del bienestar globalizada y forma parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) impulsados por las Naciones Unidas, el programa más ambicioso de la historia para abordar los principales problemas sociales y ambientales de la humanidad.

La identificación de los ODS para la industria es una condición necesaria para abordar la sostenibilidad: de los diecisiete, cinco de ellos guardan una estrecha relación

con el sector y su capacidad de abordar un plan de acción relacionado con los procesos de producción.

➤ “ODS 7: Energía asequible y no contaminante

- Para 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
- Para 2030, aumentar la cooperación internacional a fin de facilitar el acceso a la investigación y las tecnologías energéticas no contaminantes, incluidas las fuentes de energía renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructuras energéticas y tecnologías de energía no contaminante.
- Para 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios de energía modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo”.

➤ “ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

- Para 2030, mejorar la infraestructura y reajustar las industrias para que sean sostenibles, usando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países adopten medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

- Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando sustancialmente el número de personas que trabajan en el campo de la investigación y el desarrollo por cada millón de personas, así como aumentando los gastos en investigación y desarrollo de los sectores público y privado para 2013”.
- “ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles
- Para 2020, aumentar sustancialmente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan y ponen en marcha políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles”.
- “ODS 12: Producción y consumo responsable
- Aplicar el Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, con la participación de todos los países y bajo el liderazgo de los países desarrollados, teniendo en cuenta el grado de desarrollo y las capacidades de los países en desarrollo.
 - Para 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.

- Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.
- Promover prácticas de contratación pública que sean sostenibles, de conformidad con las políticas y prioridades nacionales
- Apoyar a los países en desarrollo en el fortalecimiento de su capacidad científica y tecnológica a fin de avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles”.

➤ “ODS 13: Acción por el clima

- Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional en relación con la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana”.

Para crear nuevas oportunidades y alcanzar los objetivos de sostenibilidad serán necesarias la implantación de acciones de mejora en la eficiencia energética capaces de monitorizar y controlar el consumo energético, redes inteligentes que permitan tomar decisiones en tiempo real, la elección de las fuentes de energía menos contaminantes y la inclusión de la economía circular en los procesos de fabricación.

La monitorización energética es uno de los elementos que debe contemplarse en todo proceso de sostenibilidad, ya que permite tener el conocimiento del comportamiento del consumo, registrar y analizar la información obtenida, identificar oportunidades de ahorro, establecer acciones de mejora y ver la evolución de las medidas implantadas.

Pero para reducir el impacto medioambiental, lo primero que se debe hacer es identificarlo y cuantificarlo, de manera que se puedan adoptar las medidas necesarias para reducirlo. Un sistema de gestión energética no solo ayuda a la industria a reducir los impactos, sino que también reduce costes y mitiga riesgos, además permite tener acceso a todos los datos actuales e históricos de cara a las acciones necesarias. Por ello, es fundamental avanzar en la transición hacia nuevos modelos energéticos más eficientes y este proceso se puede iniciar en cualquier industria, independientemente del momento energético en el que se encuentre, mediante la implementación de medidas que van desde las más simples a las más complejas, como:

- Gestión energética
- Realización de auditorías energéticas
- Puesta a punto de las instalaciones
- Renovación tecnológica de infraestructuras:
 - Climatización
 - Iluminación
 - Fotovoltaica
- Suministro de energía (energía verde: electricidad producida por fuentes renovables o de cogeneración de alta eficiencia en cualquier punto del país)
- Mantenimiento eficiente de las instalaciones

En definitiva, se puede considerar la sostenibilidad como un nuevo factor de competitividad. La implementación de políticas de reducción de gases contaminantes y un sistema de producción más eficiente con el fin de reducir los consumos energéticos

son algunas de las medidas que la industria deberá adoptar con ayuda de la tecnología. Pero el camino de la eficiencia no trata solo de reducir el consumo energético, sino de acompañar a la industria en el reto de ser más sostenible y eficiente.

1.1.2 LÍNEA BASE E INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La línea base es la primera medición de todos los indicadores contemplados en el diseño de un proyecto. Permite conocer el valor de los indicadores al momento de iniciarse las acciones planificadas, es decir, establece el “punto de partida” del proyecto o de la intervención, esta suele tener un carácter “cuantitativo” y puede recurrir a información primaria (recolectada en campo) o a información secundaria (como, por ejemplo: censos, estudios previos), pero generalmente se basa en las fuentes primarias ya que las intervenciones o proyectos están orientados a un escenario específico no contemplado por otros estudios.

Desde el punto de vista del “ciclo de proyecto”, la línea base debe realizarse antes de las intervenciones; de lo contrario, no se contará con datos que permitan establecer comparaciones posteriores e indagar por los cambios ocurridos conforme el proyecto o intervención que se haya implementado, de no realizarse se hacen menos confiables las posteriores evaluaciones de resultados de impacto.

Por lo general, el resultado de la línea base se expresa en un informe que describe la situación del problema identificado antes de la intervención y la información elaborada se conoce como “año base”.

La línea base del consumo de energía de una edificación es una referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético. En cuanto a su característica de servir como la base de comparación del desempeño energético, representa los valores de referencia para evaluar si dicho desempeño mejora con el tiempo, se mantienen o empeora. De ahí su nombre de línea base.

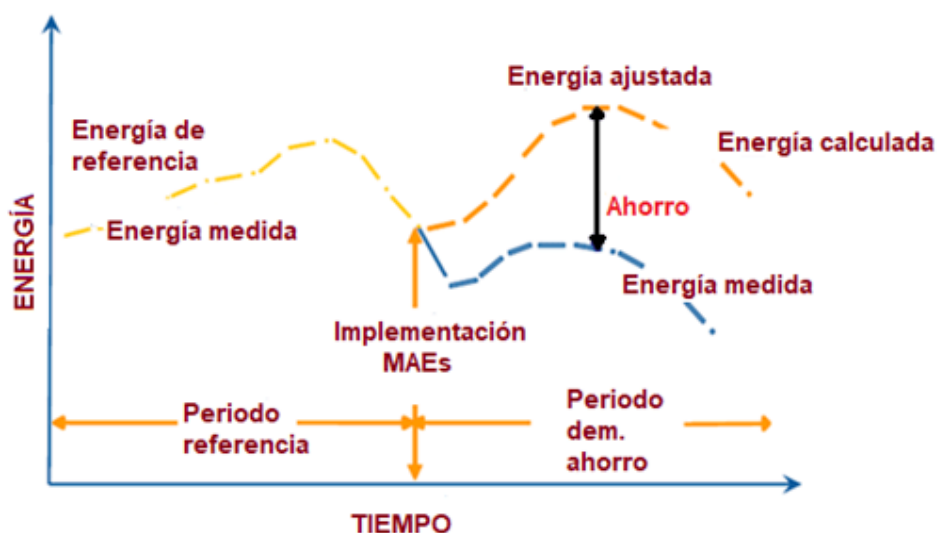


Figura 1. Línea base de consumo de energía. Fuente: SinCeO2

Para lograr la obtención de la línea base, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Identificación de los consumos de energía. Se deberá contar con un registro completo de los datos de consumo de energía con sus unidades y por un período representativo de la actividad principal de la empresa u organización. Por ejemplo: si se trata de una institución educativa, será necesario contar con datos del recibo de electricidad de por lo menos un año lectivo; si se trata de una fábrica de temporada, se deberá contar con los datos del recibo de electricidad y combustibles durante la temporada.

2. Identificación de las variables independientes. Se deberá hacer un análisis de todas las variables posibles que se presuman como responsables en el consumo de energía de una empresa u organización. Dicha identificación no debe de dejar fuera ninguna hipótesis, recolectando el mayor número de variables posibles, siempre y cuando se cuente con igual número de datos de dichas variables en el mismo período representativo de la actividad principal de la empresa u organización. Algunas variables típicas que se suelen identificar son: temperatura en grados de refrigeración o calentamiento, número de personas en las instalaciones, producción de artículos, iluminación ambiental, entre otras.

3. Correlación de variables. Una vez identificadas las variables independientes y obtenido los datos de ellas y de las variables de consumo de energía, se realiza un análisis de correlación de preferencia por medio de un software u hoja de cálculo, identificando las variables independientes que mejor cumplan con los indicadores de correlación.

4. Obtención de fórmula de línea base, una vez confirmadas las variables que se relacionan directamente con el consumo de energía de la empresa u organización, se obtiene la ecuación de correlación y se presentan sus resultados en una gráfica.

De la ecuación anteriormente mencionada se obtendrá el valor indicativo del consumo de energía frente el desempeño de una o varias variables dependientes relacionadas con la actividad de consumo de energía de la empresa y organización.

Para medir el desempeño energético se debe hacer seguimiento de indicadores de desempeño energético. Por ejemplo, la cantidad de energía consumida por unidad producida puede ser un buen indicador en un entorno industrial.

Además de la cantidad de energía consumida por unidad producida, otro indicador para dar seguimiento podría ser: la cantidad de energía consumida en iluminación para las áreas administrativas de nuestro entorno industrial. Para este caso, la energía no depende de las unidades producidas, sino más bien de variables como: personal, áreas iluminadas y horas de funcionamiento de nuestras oficinas administrativas. En este caso se debe de contar con otro distinto indicador que relacione diferentes variables. De tal manera que debemos de contar con líneas base para cada uno de los indicadores anteriores.

La línea base es una referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético. Es el estado de la relación entre el consumo de la energía y una variable representativa que condiciona dicho consumo. Esta variable puede ser número de personas que son atendidas en un negocio, la temperatura diaria de funcionamiento de un aire acondicionado, metros cuadrados iluminados, entre otros. Además esta línea base refleja un periodo específico de tiempo, generalmente al inicio de la implementación de medidas de eficiencia energética y es un instrumento de referencia para medir los resultados de dichas medidas. Una vez se han implementado y se ha comprobado que la metodología de línea base contribuyó a medir los resultados de las mismas es necesario actualizarla de manera de realizar una mejora continua en todo el proceso.

El indicador de desempeño energético es la relación puntual entre el consumo de energía y la variable representativa de dicho consumo, independientemente del comportamiento histórico de la misma. Posee una unidad de medida asociada y como ejemplo podemos tener los kWh/m², kWh/unidad producida, entre otros. Para su identificación es necesario que se realice un análisis a nivel de la instalación, a nivel de equipos o a nivel de procesos.

1.1.3 CONTROL DE EFICIENCIA POR GESTIÓN Y POR TECNOLOGÍA

El desarrollo actual de la región requiere de acciones encaminadas a reducir costos, proteger el medio ambiente, y aumentar la competitividad de las empresas, ante una economía cada vez más abierta y globalizada.

La eficiencia energética caracteriza la habilidad de lograr objetivos productivos, empleando la menor cantidad de energía posible, es lograr un nivel de producción, con los requisitos de calidad establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético, y la menor contaminación ambiental asociada.

La eficiencia energética puede alcanzarse por dos vías fundamentales, no excluyentes entre sí: mediante una mejor gestión energética y buenas prácticas de consumo, de operación y mantenimiento (administración de energía, medidas técnicas y organizativas con baja o ninguna inversión) y mediante tecnologías y equipos de alta eficiencia en remodelaciones de instalaciones existentes o en instalaciones nuevas (inversiones).

La primera vía tiene un menor costo, pero los resultados son más difíciles de conseguir y mantener. La segunda vía requiere mayores inversiones, pero el potencial de ahorro es más alto y asegura mayor permanencia de los resultados. Cualquiera de las dos permite aumentar la eficiencia energética, pero la combinación de ambas es lo que posibilita alcanzar el resultado óptimo, comenzando, por supuesto, con las medidas técnicas y organizativas.

➤ **Eficiencia energética por gestión**

La gestión energética busca un uso más eficiente de la energía sin reducir los niveles de producción, sin disminuir la calidad del producto o servicio, ni afectar la seguridad o los estándares ambientales. También beneficia a la empresa reduciendo costos de producción y elevando su competitividad; al país, aplazando los requerimientos de financiamiento para la infraestructura energética, promoviendo nuevas tecnologías y la modernización del sector empresarial, y reduciendo la importación de bienes de capital para el desarrollo energético; a la sociedad, conservando recursos para las futuras generaciones, disminuyendo las emisiones contaminantes al medio ambiente y contribuyendo a la formación de una cultura energética y ambiental.

La administración de la energía necesita un enfoque gerencial coherente e integral. La experiencia demuestra que los ahorros de energía sólo son significativos y perdurables en el tiempo cuando se logran en el marco de un sistema integral de gestión energética, que trate a la energía como un recurso más, bajo el control de la administración de la empresa. El consumo de energía es un gasto controlable, y la función de una buena gerencia es mantener este control.

La experiencia en materia de administración de energía indica que:

- La administración de energía debe concebirse como un proceso de mejoramiento continuo de la eficiencia energética.
- Los esfuerzos deben concentrarse en el control de los principales puntos de consumo energético.
- Deben orientarse los programas al logro de resultados y metas concretas.
- Es necesario realizar el mayor esfuerzo en la instalación de equipos de medición (No se puede administrar lo que no se conoce).

Causas que caracterizan un buen nivel de gestión energética:

- Suficientes mecanismos de motivación al ahorro.
- Conocimiento del costo de energéticos secundarios.
- Suficiente instrumentación.
- Monitoreo de indicadores.
- Evaluación técnica económica.
- Existencia de normas por áreas o equipos.
- Sistemas de contabilidad energética.
- Alto nivel de inversión en conservación de energía.

La gestión energética implica monitoreo, registro, evaluación y acción correctiva continua sobre los equipos, áreas, procesos y personal clave, para reducir los consumos y gastos energéticos. La predilección tecnológica entre ingenieros y gerentes ha fortalecido la creencia de que para incrementar los estándares de eficiencia es necesario contar con tecnología avanzada. De hecho, el monitoreo y control de la energía, la

mejoría en las prácticas de operación mantenimiento y la implementación de medidas técnicas y organizativas simples, de bajo costo, lograrán mucho más en el corto plazo. Si no se cuenta con una administración y un mantenimiento efectivo, no se podrán alcanzar los máximos beneficios de las inversiones en tecnología eficiente [3].

Las oportunidades relacionadas con la gestión energética y las prácticas de consumo son:

- Incremento de la educación energética ambiental y la promoción del ahorro de energía a todos los niveles.
- Elevación del nivel de la gestión energética, mediante la implementación de sistemas avanzados de administración de energía.
- Reforzamiento institucional en el campo de la eficiencia energética.
- Desarrollo de seminarios, eventos, cursos, diplomados, especializaciones, etc., sobre eficiencia energética.
- Establecimiento de legislaciones que promuevan la eficiencia energética.
- Desarrollo de proyectos piloto demostrativos de eficiencia energética.
- Establecimiento de programas de auditorías e incentivos para pequeñas y medianas industrias.

➤ **Eficiencia energética por tecnología**

Se refiere a la utilización de tecnologías que requieren una menor cantidad de energía para conseguir el mismo rendimiento o realizar la misma función. Se centra en la tecnología, el equipamiento o la maquinaria usada en las empresas.

Las oportunidades relacionadas con los equipos y las tecnologías son [4]:

- Incrementar la eficiencia en el uso de las materias primas e incrementar el reciclaje.
- Introducción de tecnologías de alta eficiencia energética en las industrias de cemento, acero, química, de pulpa y papel, y refinación de petróleo.
- Incrementar la aplicación de los sistemas de cogeneración en la industria, e introducirlos en el sector terciario.
- Introducción de ciclos combinados con turbinas de gas y turbinas de vapor para la generación de electricidad.
- Introducción de ciclos integrados con gasificación de carbón y biomasa.
- Introducción de equipos de alta eficiencia en el sector comercial y residencial.
- Cambio a modos de transportación de menor consumo de energía.
- Mejoras en la tecnología y la infraestructura del transporte.
- Mejoras en los sistemas de riego y cultivo en la agricultura.
- Empleo de combustibles más limpios para el transporte: gas natural comprimido, alcohol, biocombustibles, hidrógeno (celdas de combustible).
- Incremento de la eficiencia en la cocción de alimentos.
- Incrementar la participación del gas natural en el balance de combustibles.
- Ampliación de la participación de las energías renovables, en particular:
 - Aplicación del calentamiento solar de agua en el sector residencial y comercial.
 - Aprovechamiento energético de los residuos agrícolas e industriales.
 - Producción de energía a partir de la biomasa.

- Aprovechamiento máximo de la hidroenergía
- Aprovechamiento de la energía eólica para la generación de electricidad.
- Utilización de la electricidad fotovoltaica en sitios no conectados a la red.
- Aplicación de los principios de la arquitectura bioclimática.

1.1.4 SISTEMAS DE GESTIÓN ENERGÉTICA (SGE)

Cada vez es mayor el número de organizaciones, tanto públicas como privadas, que son conscientes de que una reducción de los consumos de energía, así como la utilización de fuentes de energía alternativas a las tradicionales, menos contaminantes, son algunas de las medidas más favorables con las que contribuir con los compromisos de reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Esta actitud ambientalmente responsable no es incompatible con la necesidad de hacer más competitivas a las organizaciones, es decir, sin perjudicar la calidad de los productos y servicios que ofrecen.

También son conocidos los esfuerzos realizados por los fabricantes de máquinas y equipos cada vez más eficientes desde el punto de vista energético. Es necesario, por ello, completar estas acciones con la consideración por parte de las organizaciones de la optimización de los consumos energéticos de instalaciones y sistemas de forma integrada, maximizando la eficiencia energética de las mismas.

La eficiencia energética debe ser entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía necesaria para garantizar la calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan a la competitividad de las empresas. Se define,

entonces, el SGE como la parte del sistema de gestión de una organización dedicado a desarrollar e implantar su política energética, así como a gestionar aquellos elementos de sus actividades, productos o servicios que interactúan con el uso de la energía (aspectos energéticos).

Este tipo de sistema de gestión es un sistema paralelo a otros modelos de gestión (ISO 14001, ISO 9001, etc.) para la mejora continua en el empleo de la energía, su consumo eficiente, la reducción de los consumos de energía y los costes financieros asociados, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la adecuada utilización de los recursos naturales, así como el fomento de las energías alternativas y las renovables. El SGE se basa en el ciclo de mejora continua, o también llamado la rueda de Deming: Planificar-Ejecutar-Verificar-Actuar. En general, los requisitos necesarios para aplicar la norma son:

- Planificar: identificar los aspectos energéticos y las obligaciones legales en materia de energía, y establecer objetivos y metas.
- Ejecutar: asignar recursos y responsabilidades, aumentar la conciencia de la organización y proporcionar formación, comunicación interna y externa, establecer la documentación, aplicar los controles operacionales.
- Verificar: establecer la medición y seguimiento del programa de gestión de la energía, evaluar el cumplimiento de las obligaciones legales; identificar y gestionar las no conformidades, el control de los documentos; llevar a cabo las auditorías internas del sistema de gestión de la energía.

- Actuar: revisión del sistema de gestión de la energía por la alta dirección en los cambios potenciales.

La certificación de un SGE se dirige a aquellas organizaciones que quieren demostrar que han implantado un sistema de gestión energética, hacen un mayor uso de energías renovables o excedentes, y/o han sistematizado sus procesos energéticos, buscando su coherencia con la política energética de la organización. Los estándares relacionados con los Sistemas de Gestión Energética son:

- **ISO 50001:2011. Sistemas de gestión energéticos. Requisitos**

La norma ISO 50001:2011 define un Sistema de Gestión de la Energía (SGE) como una metodología para lograr el objetivo principal de establecer requisitos mínimos y específicos que garanticen la mejora continua del desempeño energético de la organización que la adopte. El cumplimiento de estos requisitos conduce a la organización a buscar continuamente la reducción de su consumo de energía, aumentando la eficiencia energética de sus procesos e identificando la mejor y más adecuada forma de uso de la energía necesaria para viabilizar sus actividades. La efectividad de un SGE dependerá, en gran medida, del compromiso y disponibilidad de todos los actores involucrados en la organización para gestionar el uso y el costo de la energía, además de realizar los cambios que sean necesarios en el día a día para facilitar estas mejoras y la reducción en los costos.

Uno de los aspectos más importantes para implementar un Sistema de Gestión de la Energía en una empresa del cualquier sector, es el compromiso de la alta dirección para realizar la implementación, mantenimiento y mejora continua de los requisitos

contemplados en la norma ISO 50001. Además, que disponga de los recursos necesarios y que defina claramente los roles y responsabilidades de los actores del SGE. La alta dirección también ha de designar un representante suyo con autoridad y responsabilidad para asegurar que el SGE se establezca, se mantenga y se mejore de forma continua de acuerdo con los requisitos de esta norma. Para implementar un SGE, es necesario que la organización realice y documente un proceso de planificación energética, en la que se debe tener en cuenta diversos aspectos relacionados con el uso y consumo energético en la institución. Esta deberá ser coherente con la política energética definida previamente y conducir de manera continua a la mejora del desempeño energético. El primer paso en el proceso de planificación es la identificación de los requisitos en materia energética que le aplican, pueden ser legales u otro tipo que la organización haya suscrito. Se debe tener acceso a los mismos, se debe determinar cómo se van a aplicar y asegurar que se tendrán en cuenta en las diferentes etapas de la implementación del SGE. En un segundo paso, la organización debe llevar a cabo una revisión energética la cual debe ser documentada de manera física o digital. Debe analizarse y conocerse el pasado y presente de los consumos energéticos, basándose para ello en mediciones y otros datos con el objetivo de conocer las áreas de mayor consumo. Se deben identificar los aspectos que influyen en estos consumos y la necesidad de realizar un diagnóstico energético enfocado en la optimización del sistema. Debe haber un control de la documentación, para asegurar que los documentos utilizados sean vigentes y no obsoletos.

➤ **UNE 216501:2009. Auditorías energéticas. Requisitos**

En el marco de la Unión Europea, los estados miembros se comprometieron a reducir para el año 2020 el consumo de energía primaria y las emisiones de gases efecto invernadero en un 20% respecto a las proyecciones previstas respecto al año 1990. La Comisión Europea en su Comunicado de 13 de noviembre de 2008 sobre eficiencia energética indica cómo el aumento de la eficiencia energética es la forma más rentable de reducir el consumo de energía, manteniendo a la vez un nivel equivalente de actividad económica.

Las auditorías energéticas se erigen como una herramienta que permite a las organizaciones conocer su situación respecto a su uso de energía. El objeto de la norma UNE 216501 es describir los requisitos que debe tener una auditoría energética para que, realizada en distintos tipos de organismos pueda ser comparable y describa los puntos clave donde se puede influir para la mejora de la eficiencia energética, la promoción del ahorro energético y disminuir emisiones de gases de efecto invernadero. Esta norma se aplicará de forma voluntaria en cualquier tipo de organización independientemente de su tamaño y actividad, que utilice energía en cualquiera de sus formas.

La norma de auditorías energéticas presenta características propias que la definen. La primera particularidad se encuentra en el ámbito y alcance técnico de la norma que consiste en definir las instalaciones, servicios y zonas a incluir en la auditoría, así como la profundidad y nivel de detalle perseguidos en la misma. Una vez definido el alcance técnico y como cuerpo principal de la norma, se establece la necesidad de

obtener un Balance Energético Inicial, establecer una Línea Base de consumos, inventariar los principales consumidores y detectar las oportunidades de ahorro energético.

Con el fin de conseguir una buena ejecución de las auditorías energéticas, se debe implantar una correcta metodología de ejecución. Esto es, estableciendo canales de comunicación, solicitando por escrito a la organización la relación de información, datos y documentos necesarios para la ejecución de la auditoría, estableciendo un programa de trabajo, realizando las medidas in situ, si procede, y elaborando un informe de la auditoría energética.

1.1.5 POLÍTICA ENERGÉTICA DE EL SALVADOR

En la Ley del Creación del CNE, se establece como primer objetivo de dicha institución que corresponde a ésta la elaboración de la planificación de corto, mediano y largo plazo en materia energética; así como, la correspondiente política energética del país. Las líneas estratégicas de la política energética nacional dan solución a los desafíos previamente planteados y consideran un proceso de consulta a los principales actores del sector energético. Los lineamientos se han integrado en seis grandes grupos con una fuerte interrelación entre sí y son los siguientes:

- a) Diversificación de la matriz energética y fomento a las fuentes renovables de energía.
- b) Fortalecimiento de la institucionalidad del sector energético y protección al usuario.
- c) Promoción de una cultura de eficiencia y ahorro energético.

- d) Ampliación de cobertura y tarifas sociales preferentes.
- e) Innovación y desarrollo tecnológico.
- f) Integración energética regional.

➤ **POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**

La legislación sobre la eficiencia energética en el mundo depende en gran medida del mercado energético de cada región. Las zonas más preocupadas por conseguir un mayor ahorro cuando consumen energía son aquellas que tienen más dependencia en su suministro. El concepto de eficiencia energética debe ser explicado a los ciudadanos para que conozcan sus beneficios. La normativa es una forma de exponerlo.

La eficiencia energética juega un papel importante para la economía y el bienestar social de todos los sectores del país. Uno de los beneficios directos de implementar medidas orientadas al uso eficiente de la energía es la reducción de costos, que en el caso de las familias de escasos recursos, representa un componente importante en sus gastos, asimismo, vuelve más competitivos y rentables a la industria, el comercio y contribuye a la reducción de gastos en el sector público.

Desde el punto de vista ambiental el ahorro de energía contribuye a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y atenúa los efectos del cambio climático. Además el ahorro de energía permite diferir inversiones energéticas, posibilita una oferta más eficiente, y reduce la dependencia de los combustibles fósiles y la presión sobre nuevos proyectos de generación. Asimismo, se logra una mejor planificación y diversificación de la matriz energética.

Para El Salvador, la eficiencia en el uso de la energía es el componente fundamental de la Política Energética como se puede observar en el segundo lineamiento estratégico, el cual tiene como objetivo promover el ahorro y uso adecuado de los recursos energéticos, incentivando el uso de tecnologías más eficientes en el sector público, el comercio, la industria, los servicios y el hogar, así como en el sector transporte, a través de normativas, incentivos y promoción educativa del ahorro energético, buscando disminuir la emisión de gases de efecto invernadero; todo lo anterior dado la limitada oferta de recursos energéticos primarios con la que el país cuenta y la fuerte dependencia de los derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica y el transporte.

Entre las prioridades de este lineamiento estratégico se destacan la necesidad de contar con un fondo para la implementación de medidas, monitoreo, adquisición de equipos, creación de capacidades técnicas, entre otras acciones; además, el apoyo a la creación de leyes y normas con sus respectivos reglamentos, programas de etiquetado, verificación y el control del cumplimiento de la obligatoriedad de las normas.

El Gobierno de El Salvador en alianza con entidades públicas, privadas, ONG y de cooperación internacional vinculadas al tema energético, fomenta una cultura de la eficiencia energética y ahorro de energía. Adicionalmente, lleva a cabo una estrategia participativa y sostenible, favoreciendo el desarrollo de proyectos, uso de tecnologías eficientes, la adopción de hábitos y mejores prácticas en el manejo de la energía.

Para entender mejor la situación de la eficiencia energética en el país es necesario conocer lo siguiente:

a) Dirección de Eficiencia Energética-CNE

Tomado como base la Política Energética Nacional y su tercer lineamiento estratégico el objetivo de la Dirección de Eficiencia Energética trata de promover el ahorro y uso adecuado de los recursos energéticos, incentivando el uso de tecnologías más eficientes en el sector público, el comercio, la industria, los servicios y el hogar, así como en el sector transporte, a través de normativas, incentivos y promoción educativa del ahorro energético, buscando disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, lo cual contribuirá al Desarrollo de La Eficiencia Energética en El Salvador.

b) Metas trazadas por la Dirección de Eficiencia Energética

Tomando en cuenta otras experiencias latinoamericanas, en El Salvador, la Dirección de Eficiencia Energética identificó que para promover una cultura de ahorro y eficiencia energética, se debe contar cómo mínimo con los siguientes elementos en una estrategia nacional:

- Ejecutar acciones prioritarias para la promoción de la Eficiencia Energética;
- Proponer un Marco Institucional apropiado el desarrollo de la Eficiencia Energética;
- Proponer un Marco Legal que garantice la sostenibilidad de las acciones y medidas realizadas en Eficiencia Energética, y;
- Crear una fuente Información Energética que identifique acciones, programas y proyectos así como los impactos a nivel nacional.



Figura 2. Metas trazadas por la Dirección de Eficiencia Energética. Fuente: CEPAL

➤ **ACCIONES, PROGRAMAS Y PROYECTOS REALIZADOS POR LA DIRECCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**

La Dirección de Eficiencia Energética en la búsqueda de la promoción de la eficiencia energética y el desarrollo de esta misma dentro de los rubros económicos del país ha establecido las siguientes acciones, programas o proyectos:

1) Programa El Salvador Ahorra Energía (PESAE)

El Programa El Salvador Ahorra Energía surge en el marco del Programa para América Latina y el Caribe de Eficiencia Energética (PALCEE), ejecutado por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) con la Cooperación Austriaca para el Desarrollo y se suman a dicho esfuerzo, organismo como la Agencia Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

El PESAE cuenta con el compromiso de instituciones públicas, empresa privada, fundaciones, universidades y representantes de la sociedad civil, las cuales firmaron un Memorándum de Entendimiento para unir esfuerzos e impulsar el tema del ahorro y el uso eficiente de la energía, tomando como base la Política Energética Nacional.

Actualmente el programa agrupa a 25 instituciones entre públicas, privadas, universidades y ONG'S; teniendo como objetivo principal el promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente y racional de la energía en el país, articulando a los actores relevantes en el tema de eficiencia energética e implementando iniciativas en los distintos sectores de consumo energético, contribuyendo al desarrollo competitivo y sustentable de El Salvador.

Para la ejecución inmediata de acciones en eficiencia energética, se definen los objetivos específicos del Programa por dichos participantes, que ayudarían a establecer los componentes y líneas estratégicas que se deberán de desarrollar a corto plazo, y estos son:

- Promover el uso racional y eficiente de la Energía.
- Hacer de la eficiencia energética un valor cultural en El Salvador.
- Mejorar el capital humano y las capacidades del sector productivo en Eficiencia Energética.
- Consolidar la eficiencia energética como una fuente de energía en la matriz energética nacional.

Para la implementación de acciones específicas en materia de Eficiencia Energética, se cuenta con un Plan Estratégico 2013-2017 para el fomento de la Eficiencia

Energética en El Salvador. Como resultado de este plan se implementó en el periodo de 2013/2014 diferentes acciones que a continuación se detallan y que van en relación con cada componente estratégico definido en dicho plan.

En continuación al desarrollo de este Plan Estratégico, se continuó la labor en el 2015 con la ejecución de las siguientes acciones:

- 2da. Edición del Premio Nacional a la Eficiencia Energética.
- Capacitación en eficiencia energética en las MIPYME a nivel nacional.
- Elaboración de reglamentos técnicos de eficiencia energética en aire acondicionado, motores eléctricos, refrigeradores comerciales y de uso doméstico.
- Apoyo a la ejecución de proyectos de alumbrado público en Zacatecoluca.
- Estudio de factibilidad de programa de sustitución de refrigeradores domésticos en El Salvador; revista “EL Salvador Ahorra Energía”.
- Implementación de Proyectos Ganadores de la Primera edición del Premio, apoyados con fondos no reembolsables;
- Acciones de promoción y concientización en diversos sectores.

2) Propuesta de ley de eficiencia energética

El CNE, con el apoyo del BID y de GIZ, desarrolló una propuesta de anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética, que tenía como finalidad los siguientes puntos:

- Establecer objetivos nacionales en materia de ahorro y eficiencia energética, en el marco de la política energética.

- Regular el obligatorio cumplimiento de los planes de ahorro y eficiencia energética para los sectores público y privado.
- Garantizar la rectoría del estado en el impulso y aplicación de políticas de fomento del ahorro y la eficiencia energética.

Dicha propuesta fue presentada a la Asamblea Legislativa el 31 de marzo de 2014, que al 2023 aún no ha recibido aprobación por parte de esta. La propuesta de Anteproyecto Ley contemplaba la creación de dos mecanismos necesarios para la implementación de la Eficiencia energética en El Salvador:

- La obligatoriedad para la formulación, ejecución y seguimiento de acciones de Eficiencia Energética en el Sector Público.
- La creación del Plan Nacional de Eficiencia Energética que establecerá toda la información necesaria para establecer metas e indicadores de seguimiento para aquellos sectores de prioridad nacional.

Dicha propuesta representaba una propuesta efectiva para la sostenibilidad de todas las acciones realizadas en materia de eficiencia energética a nivel nacional y apoyará al desarrollo económico de El Salvador.

3) Reglamentos técnicos salvadoreño en eficiencia energética

El CNE, con el apoyo de la Agencia para la cooperación internacional de los estados unidos (USAID por sus siglas en ingles) y en coordinación con el Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica (OSARTEC) trabajaron en la elaboración de propuestas de Reglamentos Técnicos Salvadoreños en Eficiencia Energética (RTSEE)

con el objetivo de sustituir del mercado nacional equipos ineficientes y que permitan en el mediano y largo plazo contar con equipos más eficientes.

Con base a los análisis técnicos se determinó que los equipos de Refrigeración, Aire acondicionado y aplicaciones de motores son los usos de mayor consumo energético en los sectores industrial, comercio y residencial.

Se esperaba que para el segundo semestre del 2015, dichas propuestas fueran revisadas y validadas con los diferentes sectores del país para que, después de una consulta pública dichos reglamentos entre en vigencia. Los RTSEE representan una estrategia efectiva para implementar las políticas de Eficiencia Energética en El Salvador y contribuirán a la sostenibilidad energética de nuestro país.

4) Premio nacional a la eficiencia energética

Con el objetivo de reconocer a las empresas, instituciones u organismos que impulsan iniciativas en Eficiencia Energética (EE), el Consejo Nacional de energía junto a las 25 instituciones del Programa El Salvador Ahorra Energía lanzaron el 11 de junio del 2015 la 2da. Edición del Premio Nacional a la Eficiencia energía.

Para la 2da. Edición se ha convocó a las siguientes categorías:

- Mejor propuesta de proyecto de eficiencia energética.
- Mejor proyecto de eficiencia energética realizado para MIPYMES.
- Mejor proyecto de eficiencia energética realizado para gran empresa.
- Mejor institución financiera en eficiencia energética.
- Mejor comité de eficiencia energética.

➤ Aporte al impulso de una cultura de uso eficiente de la energía.

5) Asistencia técnica para el financiamiento de proyectos de eficiencia energética en el sector público por parte de agencia de cooperación internacional del Japón (JICA)

En julio de 2014 el CNE junto a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) firmó un acuerdo para la ejecución de una asistencia técnica orientada a la creación de un mecanismo financiero que apoye la ejecución de medidas de eficiencia energética en el sector público.

Con la asistencia técnica se busca eliminar las barreras institucionales y políticas sobre el financiamiento de proyectos de eficiencia energética en el sector público, y proponer y analizar los diferentes modelos de financiamiento para solucionarlos, así como proponer las medidas para superar los desafíos identificados. Además la asistencia técnica incluye el asesoramiento y ejecución de un proyecto piloto en las áreas de iluminación y aire acondicionado valorados en US\$50,000 para poner en marcha el modelo financiero identificado e involucrar a todas las instituciones del sector público involucradas.

Dicha asistencia técnica además de la coordinación del CNE cuenta con el apoyo del Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL) y el Ministerio de Hacienda por medio de la Dirección de Presupuesto, quienes han colaborado con esta iniciativa.

Actualmente se ha hecho las valoraciones de los diferentes mecanismos financieros y se espera implementar el proyecto piloto en el periodo de julio a septiembre

de 2015 en 2 instituciones del gobierno central y en dos municipalidades en proyectos de alumbrado público eficiente.

Al final de la asistencia técnica se espera contar con una propuesta de fideicomiso para proyectos de eficiencia energética en el sector público y todos los detalles para su implementación, lo cual permitirá ejecutar todas las acciones en eficiencia energética generada por los comités de eficiencia energética institucionales.

1.2 AIRE COMPRIMIDO. APLICACIONES, ESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO.

El aire comprimido corresponde a una de las formas de energía más antiguas de la humanidad, utilizada en Grecia, hace más de dos mil años en una catapulta. El primer registro del compresor mecánico se encuentra tres mil años A.C. utilizado en la metalurgia cuando se desarrollaban las aleaciones de cobre para hacer bronce, convirtiéndolo en un proceso estable.

Junto con la electricidad, el aire comprimido constituye una forma de energía de uso muy extendido en el sector industrial ya que permite multitud de aplicaciones tales como atornillar, rectificar, inyectar, entre otras.

Esta fuente de energía aunque es útil y de amplia aplicación, si no es correctamente implantada, puede acarrear costos adicionales. Esto sucede puntualmente si no se dimensiona u opera convenientemente.

El adecuado funcionamiento de la instalación de aire comprimido y duración de la misma tienen inicio desde su concepción, realizando el diseño en base a normatividad y las necesidades del sitio.

El aire comprimido corresponde a aire del ambiente al cual, por medio de un compresor, se le aumenta la presión por encima a la atmosférica. Este aire se compone esencialmente de oxígeno, nitrógeno y vapor de agua.

El aire del ambiente es una mezcla de gases incoloro, inodoro e insípido, compuesto básicamente por nitrógeno en un 78 %, oxígeno en un 21% y 1% de otros gases. Al no ser un elemento puro cuenta con presencia de impurezas, partículas y humedad.

La ley de Mariotte y Gay Lussac es la más significativa en el sector de la neumática y es la utilizada como fundamento tecnológico para el funcionamiento de los compresores. Un volumen de aire constante es aspirado e introducido en la cámara del compresor donde el volumen se reduce. Esta disminución de volumen provoca un aumento de la presión y de la temperatura del aire.

Como toda fuente de energía cuenta con ventajas y desventajas. Las ventajas que se pueden destacar del aire comprimido son:

- Es abundante (disponible de manera ilimitada).
- Facilidad de transporte y los conductos de retorno son innecesarios.
- Se puede almacenar.
- Resistente a las variaciones de temperatura.
- Es seguro, no existe peligro de explosión ni incendio.

- Limpio.
- La velocidad de trabajo es alta.

Las mayores desventajas que posee frente a otros tipos de fuente de energía, son:

- Necesita de preparación antes de su utilización (eliminación de impurezas y humedad).
- Debido a la compresibilidad del aire, no permite velocidades de los elementos de trabajos regulares y constantes.
- Las fuerzas de trabajo son limitadas (de 20 a 30000 N).
- Es ruidoso, debido a los escapes de aire después de su utilización.
- Tiene costos elevados. Es una energía cara, que en cierto punto es compensada por el buen rendimiento y la facilidad de implantación.

1.2.1 AIRE COMPRIMIDO EN LA INDUSTRIA

El aire comprimido es una forma de fluido energético muy versátil en la industria. Su calificativo de fluido energético radica en su capacidad de producir un trabajo cuando se descomprime. Casi todas las empresas utilizan el aire comprimido en algún tipo de equipo como herramientas de mano, actuadores de válvulas, pistones y maquinaria. De hecho, más del 10% de la electricidad suministrada a la industria se utiliza en la producción de aire comprimido [1].

En muchos casos, el empleo de aire comprimido es tan vital que la instalación no puede funcionar sin él. La proporción de energía utilizada para producir aire comprimido varía según los sectores de actividad - en algunos casos, puede ser hasta un 30% del

uso total de energía [1]. Los sectores empresariales que utilizan el aire comprimido de manera más extendida incluyen:

- Plantas de productos alimenticios y bebidas: el aire comprimido debe estar exento de aceite para llevar a cabo un control exhaustivo de válvulas y actuadores en las plantas de envasado y llenado de estos productos. El aire comprimido es el encargado de evitar que se contaminen por algún fallo en los procesos de producción. A la hora de transportar productos como la leche o el cacao por los tubos de la planta industrial, el aire comprimido ejerce de protector, también en la fermentación del vino, la cerveza o el yogur.
- Industria textil: se utiliza el aire comprimido para poner en marcha determinadas herramientas neumáticas y para la limpiar peines y agujas, algo imprescindible para que funcionen adecuadamente los telares. La innovación tecnológica ha conseguido que el chorro de aire se utilice para tejer a gran velocidad y con un nivel de eficacia increíble.
- Talleres de carpintería metálica y madera: se usa el aire comprimido en las grapadoras, prensas y remachadoras neumáticas, que son capaces de taladrar metales mediante pistones neumáticos.
- Fábricas de muebles: las pistolas de aire comprimido consiguen unos acabados excelentes en el ensamblado y la tinción de muebles, algo que contrasta con los métodos tradicionales de lacado y pintura que cada vez se utilizan menos.
- Talleres de chapa y pintura y mecánicos: si se dispone de un buen compresor de aire, las reparaciones se efectúan con mayor rapidez y precisión. Además, con la pistola aerográfica se pueden pintar materiales pulverizables de forma

controlada tras mezclarse por conductos independientes. En los talleres mecánicos, el aire comprimido se utiliza como elemento habitual en herramientas neumáticas como atornilladores y taladradores neumáticos, clavadoras, remachadoras, etc.

- Industria del calzado: se usa el aire comprimido para mantener la presión en la instalación de fabricación del calzado vulcanizado. En la parte final del proceso se utilizan pistolas de aire comprimido para pintar y barnizar los zapatos y obtener resultados excelentes.
- Componentes electrónicos: Para la fabricación de componentes electrónicos, se utiliza equipamiento sensible y de alta tecnología. Supone una gran inversión de capital para cualquier operador que es imprescindible proteger en todo momento. Estos equipos utilizan gran cantidad de aire comprimido, por ejemplo, para transportar componentes con energía neumática o para accionar válvulas de alta sensibilidad. Este aire debe estar, sin lugar a duda, libre de aceite.
- Construcción: Los compresores de aire remolcables y portátiles son equipos habituales en los proyectos de todo el mundo. El aire comprimido se utiliza para el accionamiento de rotomartillos, demoledores, cinceladoras, pistola de clavos e incluso suele ser muy utilizado en técnicas de lanzamiento de concreto para algunas aplicaciones en específico como el Soil Nailing.

1.2.2 ESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

El esquema básico de una instalación de aire comprimido (Ver figura 3) responde a una estructura compuesta por un compresor, un equipo receptor final y una conducción que enlaza ambos puntos y que conduce el aire comprimido desde el compresor hasta el equipo consumidor. En realidad, la mayor parte de las instalaciones de aire comprimido, aunque en su concepción más elemental responden a este esquema, presentan una complejidad bastante más elevada.

El empleo de aire comprimido suele hacerse en situaciones de múltiples receptores que se alimentan desde un único generador, lo que implica que la distribución haya que realizarla mediante una red de distribución alimentada desde el compresor o compresores.

Por otra parte los requerimientos de calidad del aire comprimido exigen la instalación, en la red, de una serie de equipos destinados a acondicionar este aire hasta las condiciones especificadas por la aplicación a que va a ser destinado. Todo esto hace que la complejidad de una red de distribución de aire comprimido sea superior a lo que se ha visto en el esquema básico inicial. Un esquema típico de la configuración de una red de aire comprimido se muestra en la figura 3. A continuación se verán en detalle cada uno de los componentes típicos que conforman una red de distribución de aire comprimido.

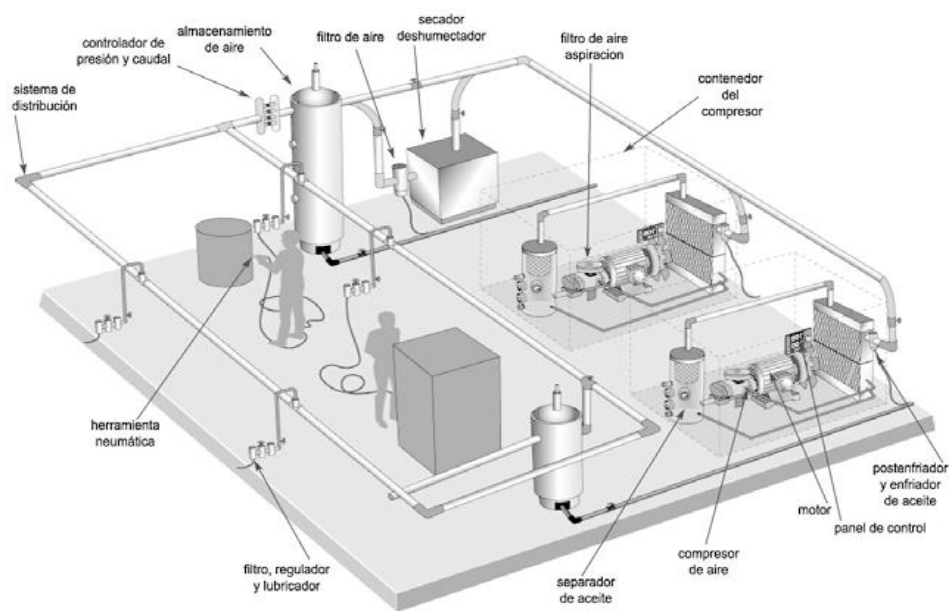


Figura 3. Esquema de una red de distribución de aire comprimido.

Fuente: Junta de Castilla y León

➤ COMPRESORES

Los compresores pueden ser clasificados, atendiendo a su principio de funcionamiento y características particulares, en una serie de tipos que son los que muestra en la figura 4.

La mayor parte de los compresores utilizados para propósito general son máquinas de tornillo con inyección de aceite. Para pequeñas aplicaciones son bastante populares los de paletas.

Los libres de aceite se usan de forma generalizada en un amplio rango de tamaños cuando la especificación de la aplicación así lo exige y también para propósito general para tamaños de motor superiores a 200 kW.

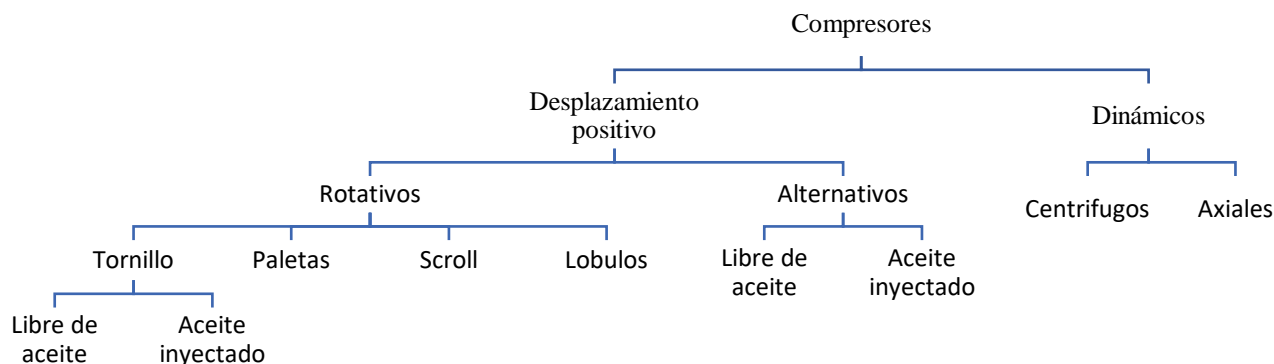


Figura 4. Clasificación de compresores. Fuente: Elaboración propia

Los centrífugos están limitados a la parte más alta del rango de mercado, generalmente por encima de 250 kW y para aplicaciones libres de aceite. Los alternativos actualmente tienden a estar limitados a instalaciones tipo pequeños talleres.

A pesar de ello, los antiguos compresores alternativos en la industria pueden llegar a ser fiables y eficientes si están bien mantenidos.

➤ **Compresores de desplazamiento positivo**

- Rotativos: Es un tipo de compresor que emplea un elemento giratorio para bombear y comprimir el refrigerante en fase gaseosa. El funcionamiento del compresor rotativo permite diseñar compresores más compactos y silenciosos. Entre estos tenemos:

1. Compresor de tornillo.

2. Compresor de paletas.
3. Compresor de scroll.
4. Compresor de lóbulos.

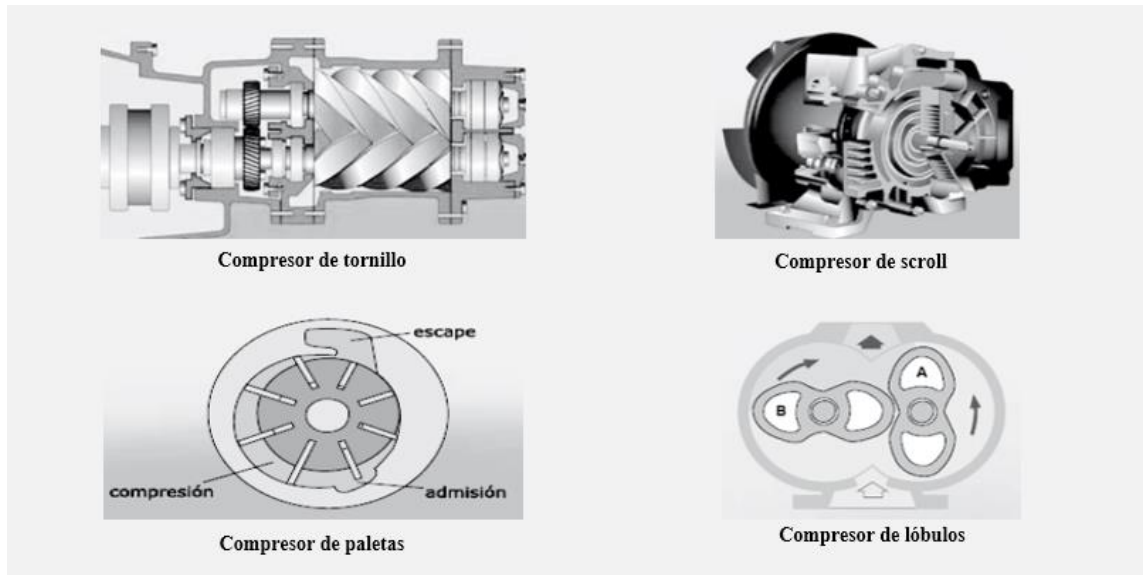


Figura 5. Compresores de desplazamiento positivo. Fuente: Junta de Castilla y León

- Alternativo: Un compresor alternativo consta de uno o más cilindros con pistones accionados por un motor. El aire se aspira en el cilindro y se comprime, en una o más etapas, a la presión de trabajo. Después de la compresión, el aire comprimido pasa a través del refrigerador posterior y continúa hasta el depósito de aire.



Figura 6. Compresor de cilindros. Fuente: Junta de Castilla y León.

➤ Compresores dinámicos

Es aquel cuyo principio de funcionamiento se basa en la aceleración molecular. El aire es aspirado por el rodete a través de su campana de entrada y acelerado a gran velocidad. Después es descargado directamente a unos difusores situados junto al rodete, donde toda la energía cinética del aire se transforma en presión estática. A partir de este punto es liberado al sistema. Los tipos de compresores dinámicos son:

1. Centrífugos

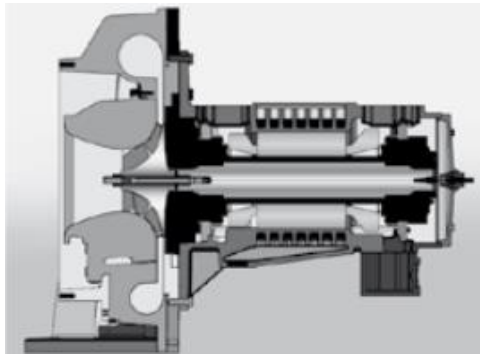


Figura 7. Compresor centrífugo. Fuente: Junta de Castilla y León.

2. Axiales

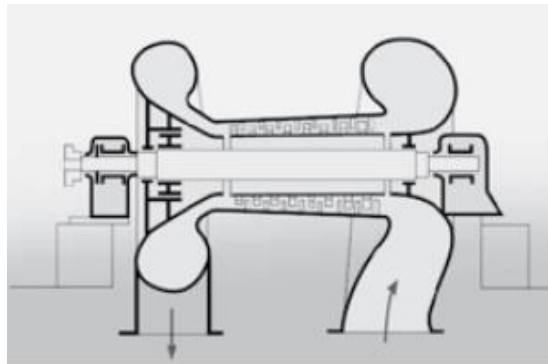


Figura 8. Compresor axial. Fuente: Junta de Castilla y León.

➤ REDES DE DISTRIBUCIÓN

Una red de distribución de aire comprimido, en principio está compuesta, al igual que cualquier red de distribución de un fluido, por tuberías y accesorios de tubería.

➤ Tuberías

Los requerimientos de aire comprimido en un proceso productivo son únicos, por lo que la red de distribución debe diseñarse e instalarse conforme a dichos requerimientos, sin embargo, se pueden identificar partes generales de la red, como pueden ser tubería principal, tuberías de distribución, tuberías de servicio y mangueras. Las tuberías principales transportan el aire comprimido desde la planta de compresores hasta el área de consumo, las tuberías de distribución suministran el aire a través del área de distribución y las tuberías de servicio conducen el aire desde las tuberías de distribución hasta los puntos de trabajo. Existen dos configuraciones básicas para las redes de distribución de aire comprimido, en función del número y distribución de consumidores finales, la red abierta y la red cerrada.

➤ Red abierta

Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio tal como se muestra en la Figura 9. La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja. Además, en la red pueden implementarse inclinaciones para la evacuación de condensados. La principal desventaja de este tipo de redes es su mantenimiento. Ante una reparación es posible que se detenga el suministro de aire "aguas abajo" del punto de corte lo que implica una detención de la producción.

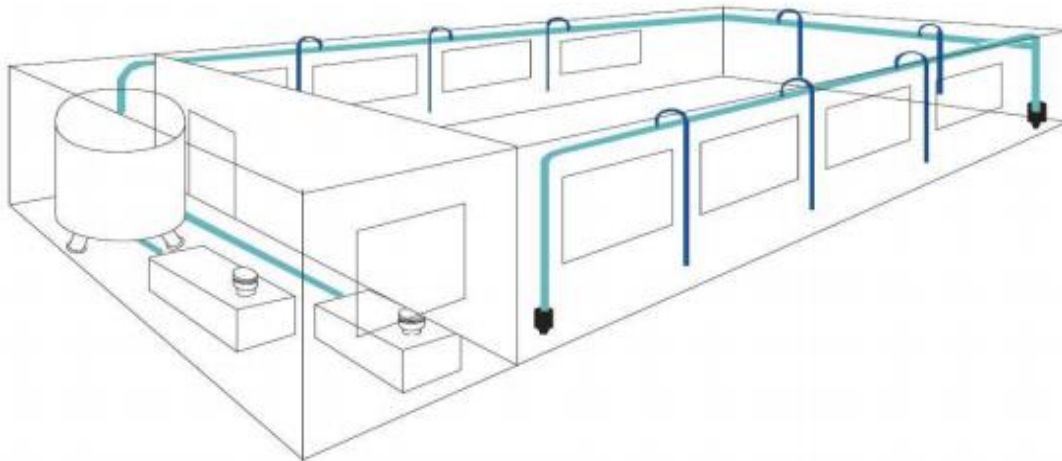


Figura 9. Red de distribución abierta. Fuente: Automatización industrial.

➤ Red cerrada

En esta configuración la línea principal constituye un anillo tal como se muestra en la Figura 10. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción. Una desventaja importante de este sistema es la falta de dirección constante del flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo.

Sin importar el tipo de red de distribución que se elija, es necesario colocar válvulas de cierre que permitan el mantenimiento de la red por secciones, así como elegir los métodos adecuados para el drenado de condensados. Además, las derivaciones desde la tubería principal deberán hacerse por medio de cuellos de ganso para evitar el arrastre de condensados hacia los usuarios finales. Es una práctica común colocar la red de distribución en la parte alta de la instalación y no enterrada, pues facilita colocar las

derivaciones para los usuarios y permite llevar a cabo maniobras de mantenimiento con comodidad.

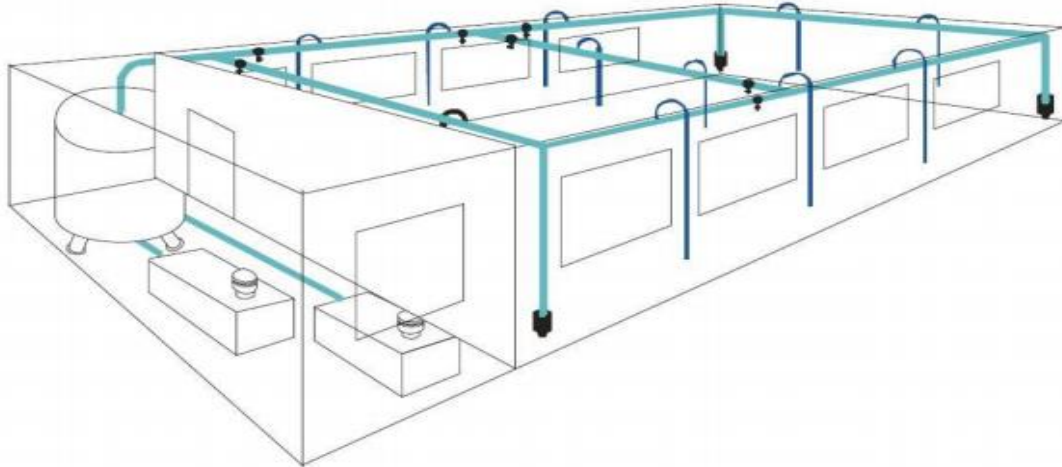


Figura 10. Red de distribución cerrada. Fuente: Automatización industrial.

Al diseñar la red de distribución deben evitarse los tramos excesivamente largos de tubería recta pues incrementan las pérdidas de presión en el aire. Como alternativas se sugiere cambiar de sitio la sala de compresores o agrupar los equipos consumidores de aire.

Para elegir el material de los tubos utilizados en redes de aire comprimido, hay que tener en cuenta la calidad del aire comprimido, ya que existen tuberías resistentes a la corrosión y empalmes que no provoca acumulación de particulado, además hay que considerar la dimensión de los tubos, la presión, condiciones del entorno, montaje y los costos de los materiales, además del aporte de la experiencia del diseñador.

En la búsqueda de alternativas para materiales de las redes de distribución, durante los últimos años se han implementado redes de tubería PVC. Este material presenta varias ventajas frente a los metales: es más económico, ligero, fácil de

conseguir e instalar. Sin embargo, presenta mayores riesgos durante su operación, entre ellos la incompatibilidad de los aceites que el aire comprimido arrastra con los adhesivos utilizados para unir las tuberías. Además, puede ser un conductor de electricidad estática, que al combinarse con los vapores de combustible o polvos podría provocar un incendio. El PVC es un material frágil, por lo que un impacto accidental podría fracturar la tubería y poner en riesgo al personal que se encuentre cerca. Por todo lo anterior el PVC no se recomienda para redes de aire comprimido y en algunos países se ha prohibido para dicha aplicación.

➤ **Conexiones y válvulas**

La cantidad de conexiones y válvulas a utilizar dentro de la red debe ser tal que permita el flujo y la regulación adecuados en el sistema sin incurrir en excesos pues cada una de estas piezas genera una pérdida de presión, por lo que deberán utilizarse las estrictamente necesarias, seleccionando los modelos que impliquen menor caída de presión.

Las válvulas colocadas a lo largo de la red permiten dejar una sección de la misma sin aire mientras las demás continúan presurizadas. Esto puede ser útil para dar mantenimiento a equipos o secciones de red o simplemente para reducir la demanda de aire cuando no se está ocupando un equipo, esto es útil sobre todo cuando este equipo está a varios metros de distancia del resto de los consumidores.

Las conexiones permiten hacer cambios de dirección y derivaciones dentro de la red. El primer requisito para la selección de conexiones es que éstas sean del mismo material y presión de operación que las tuberías. Si se utilizan uniones roscadas, éstas

deberán contar con un sellador de alta calidad que minimice la posibilidad de fugas en estos puntos. Para los cambios de dirección se sugiere minimizar el uso de ángulos rectos sustituyéndolos por codos redondeados pues la pérdida de presión es menor. También debe evitarse siempre que sea posible el uso de acoplamientos T y cuando esto resulte imposible, la parte recta de la T debe orientarse en la dirección del flujo del aire.

➤ **TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO**

Como se mencionó anteriormente, el aire contiene partículas de polvo, humedad y aceites y existen equipos específicos para remover cada tipo de contaminante. Además, al salir del compresor el aire podría tener una temperatura mayor a la deseada, por lo que de ser necesario también debe enfriarse.

Los equipos acondicionadores de aire se colocan generalmente en dos puntos del sistema: a la salida del compresor (lado del suministro) y antes de los equipos consumidores (lado de la demanda). Los elementos principales en el lado del suministro son el enfriador y el deshumidificador, mientras que en el lado de la demanda se colocan un filtro, un regulador y un lubricador.

➤ **Enfriador**

La capacidad del aire de contener agua en forma de vapor es directamente proporcional a su temperatura e inversamente proporcional a su presión. Durante la compresión el incremento de temperatura en el aire permite que éste absorba una mayor cantidad de humedad, sin embargo, una vez que el aire pasa al tanque de almacenamiento y a las tuberías su temperatura disminuye por lo que el agua comienza

a condensarse. El enfriador no es más que un intercambiador de calor. El fluido caliente es el aire comprimido y el fluido frío puede ser agua proveniente de una torre de enfriamiento o de un chiller (Figura 11) o aire soplado por un ventilador (Figura 12). Este equipo se coloca en la salida del compresor y reduce la temperatura del aire en una sección controlada que cuenta con un drenaje de condensados, con lo que se evita que éstos avancen hacia la red de distribución.

El enfriador aire – agua es un arreglo de tubos y coraza de un paso con flujos en sentido contrario. En la mayoría de las veces el aire comprimido (fluido caliente) circula por el interior de los tubos mientras que el agua de enfriamiento (fluido frío) circula por el exterior de los tubos. La principal desventaja de estos equipos es la necesidad de contar con el suministro constante de agua, lo que hace necesario contar con la instalación para poder desplazar el agua hacia el intercambiador y después de éste. Debido a los requerimientos adicionales para el uso de agua fría como removedor de calor (bombas, tuberías, filtros y enfriadores o chiller, así como torres de enfriamiento) este tipo de enfriadores sólo se recomiendan para compresores con potencia igual o mayor a 40 hp.



Figura 11. Enfriador aire – agua. Fuente: Neumática

El enfriador aire – aire tiene como configuración básica el intercambiador de calor de placas planas. El aire comprimido se hace pasar a través de las placas y el aire frío pasa por entre medio de las placas. El aire frío puede ser impulsado por un ventilador u obtenido de la operación normal del compresor. Esto dependerá del flujo de aire requerido y del flujo externo que el compresor pueda generar.



Figura 12. Enfriador aire – aire. Fuente: Neumática

➤ **Deshumificador**

El deshumificador es el equipo que debe instalarse inmediatamente después del enfriador, pues en dicho dispositivo se almacenará el condensado generado durante el paso del aire comprimido por el enfriador, que después deberá ser drenado. En la Figura 13 se ilustra el arreglo de enfriador y deshumificador.

Aunque el propósito del deshumificador es retener la humedad, esto no hace que el aire comprimido esté completamente seco después de haber pasado por éste, esto debido a dos razones: la eficiencia del equipo no es del 100% por lo que no retendrá toda la humedad, y este equipo no tiene la capacidad de disminuir el punto de rocío del aire comprimido, por lo que si en algún punto posterior del sistema de aire comprimido la

temperatura del aire es menor que la del punto de rocío inevitablemente se formará condensado.

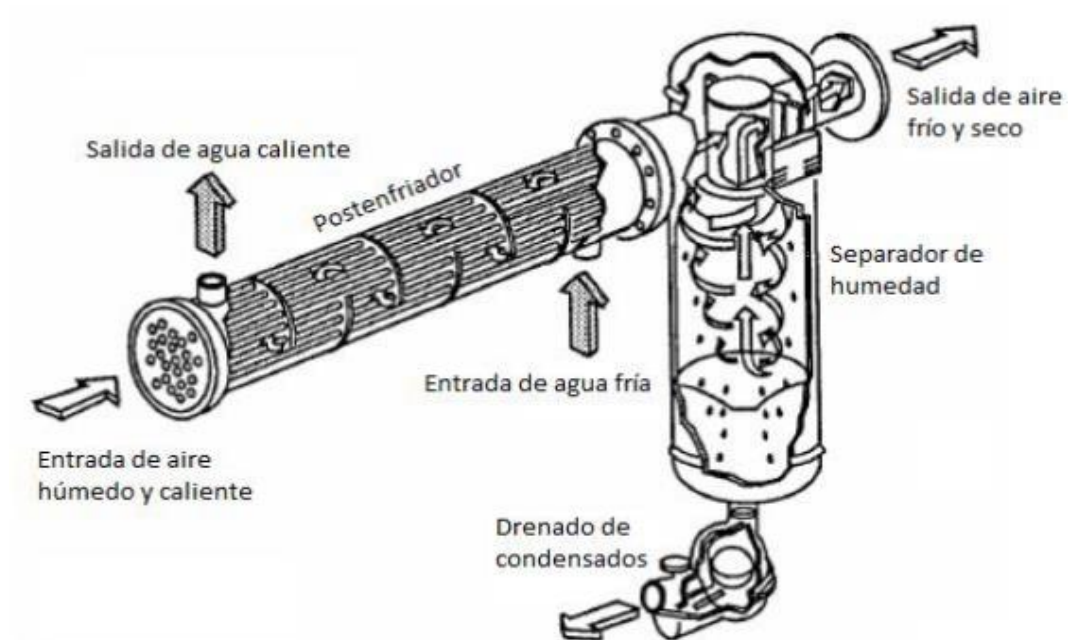


Figura 13. Arreglo de enfriador y separador de humedad.

Fuente: Escuela Politécnica Nacional.

➤ Secador

Después de haber hecho pasar el aire por el enfriador y el deshumidificador, éste habrá perdido calor y disminuido su temperatura, y así un porcentaje de la humedad que el aire contenía se habrá condensado y habrá sido removido por el deshumidificador. Sin embargo, el agua presente en el aire estará en saturación y podría condensarse si en el resto del recorrido del aire comprimido hasta su usuario final se presenta una disminución en la temperatura.

Esto podría comprometer la calidad de un proceso o la vida útil de un equipo, por esta razón se colocan secadores de aire de diversos tipos. La selección del secador está dada en función de la cantidad de aire a secar y de las condiciones atmosféricas más

críticas que se puedan dar en el sitio donde se instale el secador (mínima temperatura que se puede alcanzar a lo largo del año).

El secador refrigerativo cuenta con un sistema refrigerativo similar al de refrigeradores de alimentos. Para reducir el nivel de humedad disminuye la temperatura del aire, con lo que consigue condensar más agua para después drenarla.

En los secadores desecantes la humedad del aire se disminuye por medio de un proceso de adsorción. Los secadores de tipo desecante regenerativo usan un desecante poroso que absorbe la humedad al recogerla en sus infinidades de poros, permitiendo que grandes cantidades de agua sean retenidas por una cantidad relativamente pequeña de desecante. Normalmente, el desecante está contenido en dos torres separadas. El aire comprimido a secar fluye a través de una torre, mientras que el desecante en la otra se regenera. La regeneración se logra reduciendo la presión en la torre y pasando aire de purga previamente seco a través del lecho desecante.

En el secador de membrana, la estructura de la membrana permite que las moléculas de ciertos gases atraviesen una membrana semipermeable más rápidamente que otras, dejando una concentración del gas deseado a la salida del generador. Cuando se usa como secador en un sistema de aire comprimido, las membranas especialmente diseñadas permiten que el vapor de agua (un gas) atraviese los poros de la membrana más rápido que los otros gases (aire) reduciendo la cantidad de vapor de agua en la corriente de aire a la salida del secador de membrana, suprimiendo el punto de rocío.

➤ **Filtros**

Los filtros de partículas pueden ser colocados tanto a la entrada del aire atmosférico como en otros puntos del sistema de aire comprimido. Un filtro a la entrada del compresor impide el paso de polvo, pelusas y basura, con el fin de evitar dañar el compresor y disminuir la cantidad de partículas que contiene el aire. También pueden colocarse filtros después de un secador, principalmente de membrana o desecante, pues impedirían el paso de partículas del secador arrastradas por el aire.

➤ **Tratamiento en los puntos de consumo**

El aire comprimido que llega a los puntos de consumo puede presentar residuos de aceite, humedad y/o partículas, aún después de haber sido filtrado antes de suministrarlo a la red de distribución.

Algunas aplicaciones requieren que el aire suministrado conserve una determinada presión para asegurar la correcta operación y la vida útil de los equipos. Además existen múltiples herramientas neumáticas que requieren ser lubricadas de forma constante, esto en función de su nivel de actividad.

Por lo anterior se recomienda colocar una última estación de acondicionamiento del aire antes de entregarlo a los consumidores finales. Esta estación suele estar compuesta de un filtro, un regulador de presión y un lubricador, que deben ser instalados en ese orden para que operen correctamente y cumplan su objetivo. En la Figura 14 se muestra un arreglo típico de filtro, regulador y lubricador.

Es importante recordar que cada elemento de acondicionamiento del aire tiene asociados un costo inicial y una pérdida de presión en el aire, por lo que antes de colocarlo debe analizarse su pertinencia en función de las condiciones requeridas en el aire para cada punto.

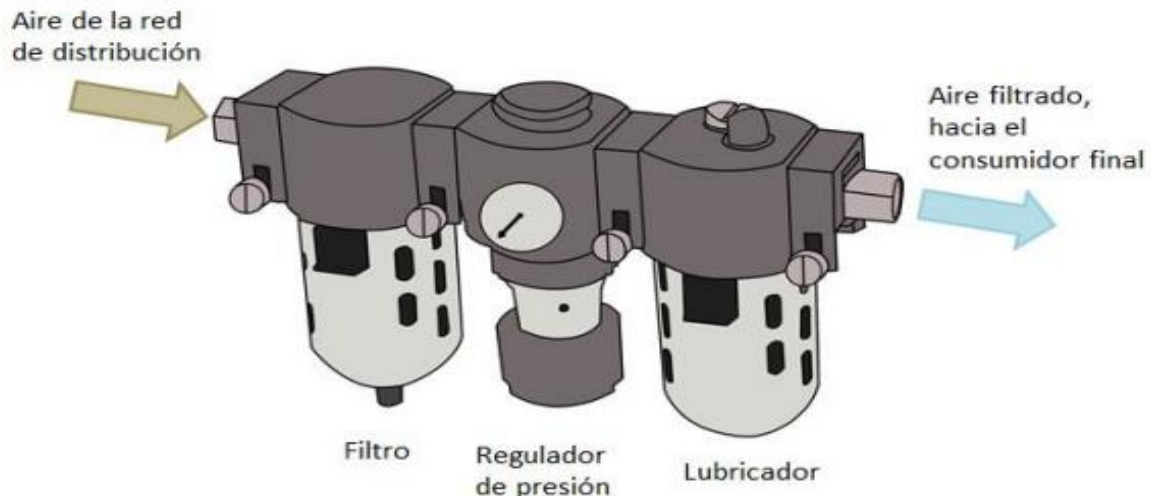


Figura 14. Unidad de mantenimiento FRL.
Fuente: Manual técnico de aire comprimido

➤ TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El tanque de aire es un almacenamiento de aire comprimido tiene dos funciones principales:

1. Sirve para evitar las variaciones de presión que vienen del compresor, que son causadas principalmente por compresores de pistones.
2. Almacenar una cantidad suficiente de aire para hacer frente a la demanda de este.

Otro efecto de este dispositivo es que ayuda a proveer un enfriamiento adicional, precipitando el aceite y humedad que vienen del enfriador antes de que el aire se

distribuya. Es por esto por lo que el tanque debe tener una purga incluida, para evitar que los condensados disminuyan el volumen disponible en el tanque o contaminen el aire comprimido, el tanque debe drenarse diariamente. La entrada del aire comprimido debe hacerse en una sección baja del tanque y la salida desde un punto alto esto permite que el tanque funcione como un separador de condensados. Además, se recomienda poner el tanque en un área ventilada, para evitar calentar el aire que contiene.

Colocar un tanque de almacenamiento correctamente seleccionado puede significar una mejora en los siguientes aspectos:

- Rendimiento energético de la estación de compresores, reduciendo los arranques innecesarios de otros equipos, así como el número de ciclos carga – descarga del compresor.
- Calidad del aire comprimido, eliminando parte del condensado contenido en el aceite, reduciendo carga al secador. - Reducción de las fluctuaciones de presión en el sistema.
- Cubrir picos de demanda repentinos por periodos de tiempo reducido.
- Compensación de oscilaciones en la alimentación de aire comprimido.
- Alimentación de emergencia de aire comprimido en caso de una interrupción en la red.

En aplicaciones que requieren una alta calidad en el aire se recomienda instalar dos tanques de almacenamiento. Un “tanque húmedo” proporciona una fuente constante de aire controlado, enfriamiento del aire adicional y separación de líquidos. Un “tanque seco” almacena el aire limpio y seco para las demandas repentinas.

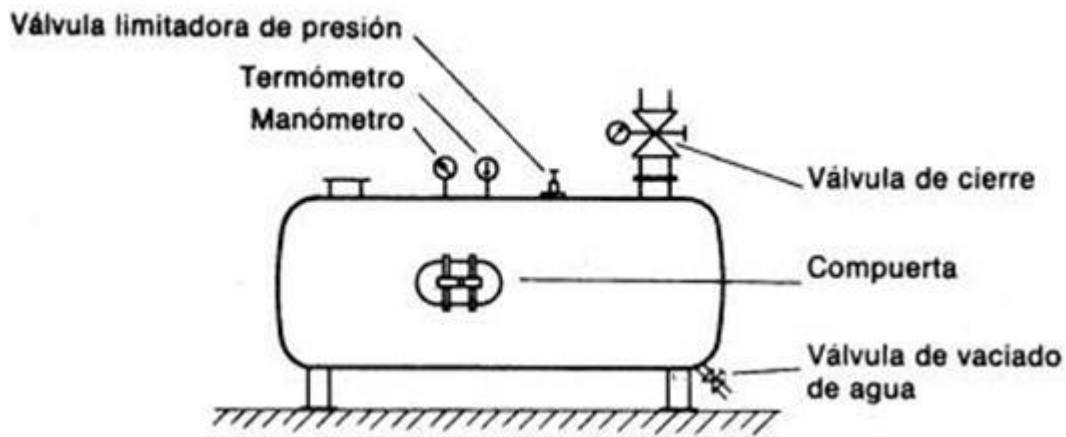


Figura 15. Tanque de almacenamiento de aire comprimido. Fuente: UPV

1.2.3 PROBLEMAS COMUNES EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

Sin importar si el sistema fue correctamente diseñado antes de su instalación o no, existen algunos factores comunes que aparecen durante la operación del mismo y pueden disminuir su eficiencia, además de disminuir la vida útil de los equipos que lo componen.

➤ CAÍDAS DE PRESIÓN

La pérdida de presión en el aire comprimido a lo largo del sistema de distribución y de los equipos de acondicionamiento es un fenómeno que si bien no puede ser evitado, debe ser controlado pues representa energía que se suministra al compresor y sin embargo no se está usando en el proceso productivo.

Un sistema correctamente diseñado debe tener una pérdida de presión de menos del 10% de la presión de descarga del compresor, medida desde la salida del tanque de almacenamiento hasta el punto de uso.

Es importante establecer límites máximos de caídas de presión por segmento del sistema y monitorear puntos clave del mismo para asegurarse de que dichos límites no son rebasados. Existen valores aceptables de caída de presión por segmento del sistema, a través de un concepto llamado longitud normal o equivalente. La longitud nominal o equivalente es una simplificación que permite hacer cálculos de elementos conectados en una sección de tubería que cuente con el mismo diámetro. Las conexiones y válvulas presentes en una tubería ocasionan una mayor pérdida de presión que los segmentos de tubería recta, por lo que se han establecido valores de longitudes equivalentes para dichos elementos, de modo que tubos, conexiones y válvulas puedan sumarse en la misma ecuación. La longitud equivalente de conexiones y válvulas depende del diámetro interior de las mismas.

Es importante aclarar que la presión de un sistema de aire comprimido debe ser definida por los consumidores finales y después debe sumarse el porcentaje de presión correspondiente a las pérdidas en la red de distribución y los equipos auxiliares, pues el propósito fundamental de la generación de aire comprimido es satisfacer los requerimientos de flujo, presión y calidad de los diversos equipos y procesos que lo requieren. Los equipos acondicionadores de aire comprimido (filtros, enfriadores, lubricadores) son responsables, en muchos casos, de las altas pérdidas de presión, por lo que deben seleccionarse cuidadosamente, instalando sólo aquellos que den al aire la calidad que requiere en función del uso que recibirá y que impliquen la menor pérdida de presión posible.

En el caso de las tuberías, válvulas e instrumentos de medición, su diámetro debe ser tal que minimice las pérdidas de presión por fricción. Para ello también se sugiere elegir los componentes de la red cuya superficie interior presente menor rugosidad.

El buen uso y mantenimiento de los equipos acondicionadores y la red de distribución es fundamental para controlar las caídas de presión en el sistema. Un filtro o una tubería obstruidos dificultarán el flujo del aire y esto se verá reflejado en una disminución en la presión y el flujo del aire en los puntos de consumo.

Las consecuencias de un alto porcentaje en la caída de la presión son muchas, pero se pueden clasificar en dos grandes rubros: la disminución en la eficiencia global del sistema debido a la energía que se suministró al mismo pero que no se aprovechó en el proceso productivo y la entrega de aire con una presión y flujo insuficientes. Esto último es el origen de otro fenómeno común en los sistemas de aire comprimido: la demanda artificial.

➤ **DEMANDA ARTIFICIAL**

Una respuesta inadecuada pero común de los operarios cuando el aire no alcanza la presión requerida en los puntos de consumo es incrementar la presión de descarga del compresor. Muy probablemente esto ayude a alcanzar la presión y flujo necesarios, sin embargo, es una mala práctica pues también incrementa la presión y el flujo del aire que sale a través de todos los usuarios del aire, incluyendo las fugas.

La demanda artificial en un sistema de aire comprimido se define como el exceso de volumen de aire que es requerido por usos no regulados como resultado de

suministrar mayor presión que la necesaria para los usos regulados. La mayoría de los dispositivos de uso final en un sistema de aire comprimido actúan como orificios o como un agujero en la tubería.

Cuanto mayor sea la presión en la tubería, mayor será el flujo de aire a través del dispositivo. Para una determinada presión, el caudal de aire comprimido a través de un orificio es una función lineal de la sección del orificio. Además de representar una disminución en la eficiencia global del sistema de aire comprimido, la demanda artificial es perjudicial para el compresor y los equipos acondicionadores pues implica el tratamiento de una mayor cantidad de aire a una presión mayor que la necesaria. Esto hará necesario que los mantenimientos y los reemplazos de piezas se realicen con mayor frecuencia, lo cual impacta en los costos de producción de la empresa y podría entorpecer el proceso productivo por requerir mayores tiempos muertos para las actividades de mantenimiento.

➤ **FUGAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN**

Todos los sistemas de aire comprimido tienen asociado un porcentaje de fuga, sin importar si están recién instalados o llevan muchos años de operación con un programa riguroso de mantenimiento. Esto es debido a la presencia de múltiples uniones, válvulas de acoplamiento rápido, entre otros. Las fugas de aire en la red representan una pérdida de energía, pues el aire está escapando permanentemente a través de ellas, sin embargo pretender eliminar todas las fugas de un sistema es altamente costoso, por lo que resulta inviable.

Muchas empresas y organismos relacionados con la producción de aire comprimido coinciden en que el porcentaje de fugas en un sistema de aire comprimido debe estar por debajo del 10% del total de aire producido, de este modo se mantiene una relación adecuada entre el costo de mantenimiento al sistema y la pérdida de energía por la presencia de fugas pues al final esa energía tiene un costo asociado.

➤ **USOS INDEBIDOS**

Entre los usos indebidos del aire comprimido en la industria están el soplado, aireado, agitación, oxigenación y filtrado de líquidos, aspiración, atomización, transporte de líquidos y sólidos, generación de vacío, ventilación y refrigeración de personal y productos, bombas de diafragma y enfriamiento de gabinetes.

El concepto usos indebidos del aire comprimido se utiliza principalmente en aquellas aplicaciones que podrían operar con aire a bajas presiones o que no precisan del aire para funcionar, de modo que el aire comprimido está siendo subutilizado. Es importante identificar plenamente todos los usos del aire comprimido en una instalación y minimizar aquellos que se consideren indebidos para reducir la demanda de aire, con todas las ventajas que esto implica.

Además del alto costo que los usos indebidos del aire comprimido pueden significar, presenta algunas desventajas y riesgos en determinadas aplicaciones, por ejemplo:

- Al usar el aire para suministrar combustible en una caldera, la variación en la presión del aire puede afectar la eficiencia de combustión.

- Usar el aire para transportar líquidos y sólidos ligeros soplando sobre ellos puede generar difusión molecular y capilaridad, además de que el material avanza por tramos cortos.
- Limpiar y enfriar espacios, equipos y personal con aire comprimido no es sólo un desperdicio de energía, además representa un riesgo para los operarios pues las partículas presentes en el ambiente pueden adquirir altas velocidades e impregnarse en la piel y los ojos. Finalmente, el aire comprimido no remueve las partículas, únicamente las dispersa por lo que puede generar una nube de polvo y eventualmente éstas volverán a caer.

Como regla general, el aire comprimido solo debe utilizarse si se producen mejoras de seguridad, aumentos de productividad significativos o reducciones de mano de obra. La eficiencia general típica es del 10 al 15 por ciento. Si se usa aire comprimido para una aplicación, la cantidad de aire utilizada debe ser la cantidad y presión mínima necesaria y debe usarse durante el tiempo más breve posible. El uso del aire comprimido también debe ser constantemente monitoreado y reevaluado.

1.2.4 COSTES DEL AIRE COMPRIMIDO

La energía eléctrica es la energía más utilizada como fuente de producción de aire comprimido industrial. El coste del aire comprimido generalmente no es un coste visible y se esconde fácilmente dentro de la factura del proveedor de energía eléctrica. En muchas instalaciones de aire comprimido, a menudo hay posibilidades significativas y no utilizadas para ahorrar energía, incluida la recuperación de energía, reducción de la presión, reducción de fugas y optimización de las operaciones mediante la elección de

un correcto sistema de control y regulación, así como la elección del tamaño del compresor más adecuado.

Los costes de energía son claramente el factor dominante que incide en el coste total de explotación del sistema. Por ello es importante centrarse en encontrar las soluciones que cumplen con las exigencias de rendimiento y calidad, y que a la vez hacen un uso eficiente de la energía.

El coste adicional asociado en la adquisición de compresores y demás equipos que cumplan con estos requisitos, resultará una inversión rentable en el tiempo. Como el consumo de energía suele representar aproximadamente el 73% (Ver gráfico 1) del coste total de explotación, se debe invertir esfuerzo en seleccionar un buen sistema de regulación. La mayoría de los compresores se suministran con su propio control y regulación del sistema incorporado, pero la adición de equipos para el control compartido con otros compresores en la instalación puede mejorar aún más la economía de operación. La regulación de la velocidad ha demostrado ser el método más popular de regulación, debido a su considerable potencial de ahorro energético.

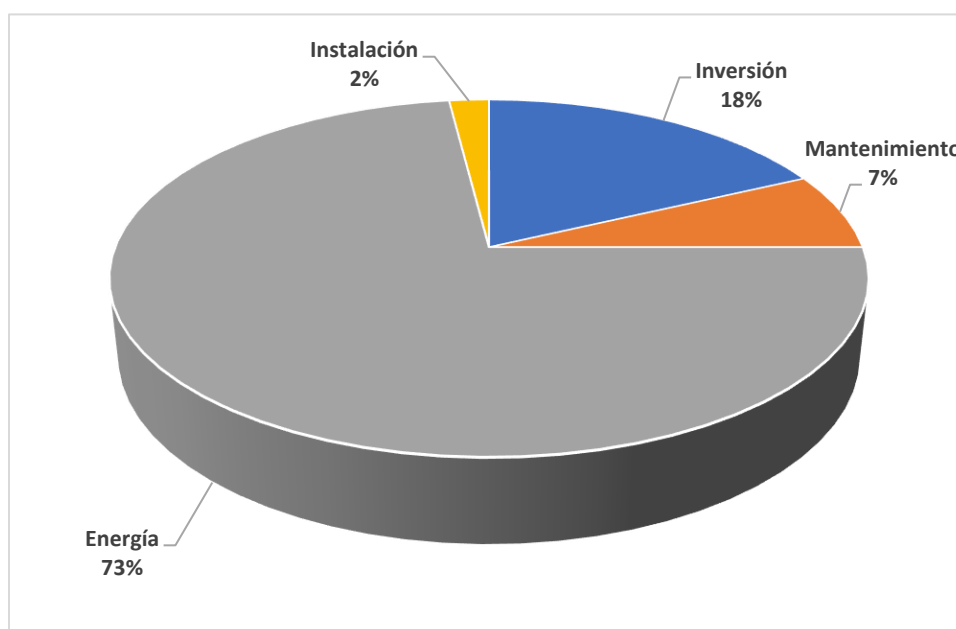
Es preciso analizar con cuidado los requisitos de las aplicaciones con objeto de seleccionar los equipos de regulación más adecuados a fin de obtener los mejores resultados. Si solo una pequeña cantidad de aire comprimido es necesario durante la noche y fines de semana, puede ser adecuado pensar en la instalación de un pequeño compresor adaptado a este requisito fuera de horas punta.

También se puede considerar el cierre o aislamiento de algunos tramos durante la noche y en los fines de semana, con el fin de reducir el consumo de aire o para asignar

los costes internos sobre la base de mediciones de caudal de aire. Cuando se analiza el coste de las diferentes contribuciones a la producción de aire comprimido, se encuentra una distribución similar a la que se muestra en el diagrama adjunto.

GRÁFICO 1. CONTRIBUCIONES AL COSTE DE PRODUCCIÓN.

Fuente: Manual técnico de aire comprimido.



Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el peso relativo de los diferentes tipos de costes puede variar con el número de horas de funcionamiento/año, con los equipos auxiliares incluidos en el cálculo, con el tipo de máquina, el sistema de enfriamiento seleccionado, etc.

1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AIRE COMPRIMIDO

Es necesario entender que un sistema de aire comprimido consta de dos partes:

- En un lado está la producción que incluye compresores y tratamiento del aire.

- En el otro lado está la demanda, que incluye la distribución, los sistemas de almacenamiento y los equipos de uso final.

Una gestión adecuada del lado de la producción tendrá como resultado:

- Aire comprimido limpio, seco y estable.
- Aire comprimido entregado a la presión adecuada.
- Aire comprimido con un coste razonable.

Si la demanda se gestiona adecuadamente significa:

- Minimizar las pérdidas de aire.
- Usar aire comprimido únicamente en aplicaciones apropiadas.

Mejorar y mantener el máximo rendimiento del sistema de aire comprimido requiere abordar tanto la producción como la demanda del sistema, así como la forma en la que interactúan ambas.

Para poder identificar áreas de oportunidad para el ahorro de energía de un sistema de aire comprimido, es necesario conocer su distribución energética así como los componentes estimados de la demanda.

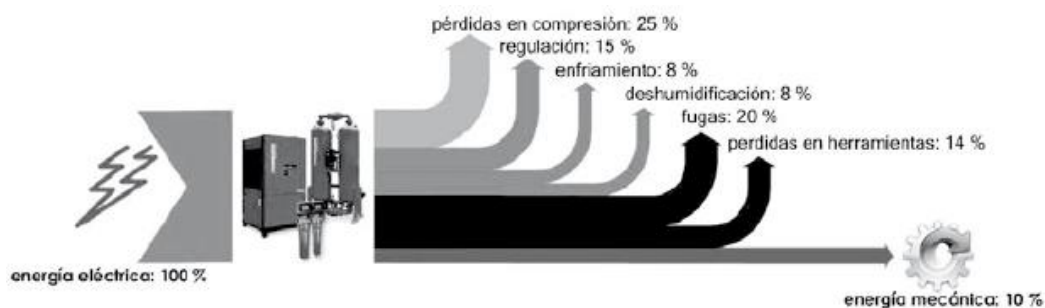


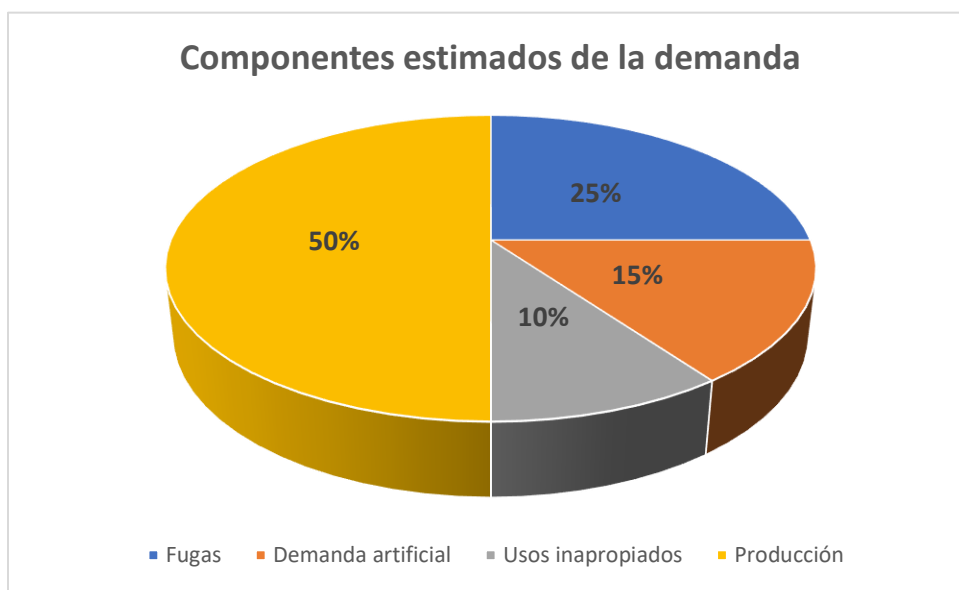
Figura 16. Diagrama de Sankey de distribución energética de un compresor.

Fuente: Manual técnico de aire comprimido.

Aproximadamente, el 50% del aire comprimido generado por las unidades de compresión de la planta se estima que se destina a componentes no productivos de la demanda tales como fugas, usos inapropiados del aire comprimido y demanda artificial [1]. En pocas palabras, los componentes no productivos de la demanda son energía neumática que se desperdicia.

GRÁFICO 2. COMPONENTES ESTIMADOS DE LA DEMANDA.

Fuente: Elaboración propia



1.3.1 CONTROL DE FUGAS

En una instalación de aire comprimido se pueden encontrar dos tipos de fugas diferenciadas según su origen. Dada su diferente naturaleza, también exigen un tratamiento diferente:

1. Fugas por poros, grietas y juntas de instalación

Todos los sistemas de aire comprimido tienen fugas de aire, incluso los nuevos. La reducción de las fugas de aire es, en la mayoría de ocasiones, la acción más importante para tener en cuenta a la hora de generar ahorros energéticos. Es imposible calcular una tasa media de fuga de una instalación, pero el objetivo de un sistema en buen estado debe presentar fugas como máximo alrededor del 10% del aire generado. Vale la pena mencionar, que la cantidad de aire comprimido perdido por fugas reduce la presión mínima de trabajo del sistema.

Cuando se producen aguas arriba de los reguladores de presión, las fugas son de aire no regulado y, por tanto, a mayor presión. Esto hace que todas las fugas de este tipo sean más importantes, dado que a mayor presión pasa más aire por la misma rendija u orificio mayores serán las fugas (Ver figura 17).

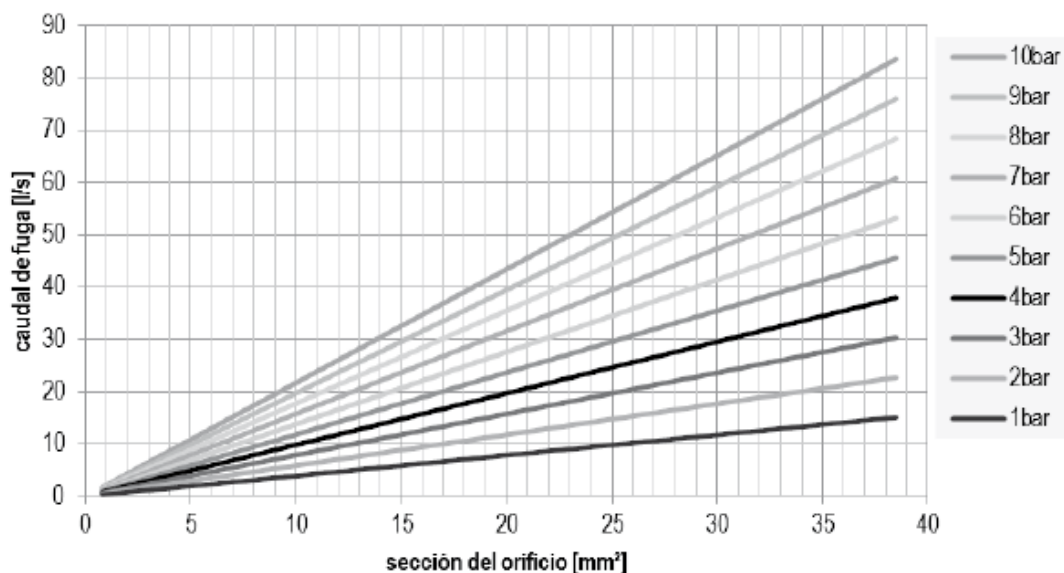


Figura 17. Fugas vs Sección del orificio para distintas presiones.

Fuente: Manual técnico de aire comprimido.

Las fuentes de fuga son numerosas, pero las causas más frecuentes son:

- Válvulas manuales de drenaje de condensado que se dejan abiertas, total o parcialmente.
- Válvulas de cierre que quedan abiertas.
- Fugas en mangueras y acoplamientos.
- Fugas en tuberías, bridas y juntas de las tuberías.
- Fugas en reguladores de presión.
- Suministro innecesario de aire a equipos parados.

Por otra parte, las fugas de aire comprimido representan un problema de seguridad debido a factores tales como el ruido o el arrastre a gran velocidad de partículas en el ambiente. Además, tienen el agravante de interrumpir potencialmente la producción debido a fallos en el equipo y originar costes adicionales a consecuencia de fluctuaciones de la presión del sistema. Esto puede hacer que las herramientas de aire y otros equipos operados con aire:

- Funcionen con menos eficiencia y puedan afectar o detener la producción.
- También puede dar lugar a problemas de calidad. Por ejemplo, una llave de torsión utilizada en la producción puede haber sido calibrada para 6 bar de presión de trabajo. Si existen fugas, se podrían producir reducciones de la presión en la zona, y la llave de torsión no ajustará correctamente los pares de apriete de los tornillos sobre los que se use.

- Reducir la vida útil y aumentar el mantenimiento de los equipos debido a ciclos innecesarios y mayor tiempo de funcionamiento del compresor.
- Se requerirá una capacidad superior de compresor en línea.

Cuando se calcula el coste de todas las fugas y el desperdicio debido a un mantenimiento inadecuado, el desembolso económico para la adquisición de equipo de detección adecuado y piezas de repuesto casi siempre está justificado. Existen tres formas de detectar fugas que se muestran en la figura 18:

Una vez detectada una fuga, la mejor práctica aconseja etiquetarla y posteriormente introducirla en un plan de mantenimiento del sistema. Las pequeñas fugas se pueden reparar in situ, pero antes de hacer frente a grandes pérdidas es aconsejable contactar con el proveedor del equipo. Si hay alguna duda acerca de cómo proceder, debe contactarse igualmente con el proveedor que será quien proporcionará la información más adecuada. Todas las fugas deben ser reparadas lo más pronto posible. Todo el tiempo que una fuga está sin reparar, es dinero perdido.

2. Fugas asociadas a la purga de agua en el sistema

Se sabe que los sistemas de aire comprimido producen cantidades importantes de agua de condensado. También se ha visto que si el sistema carece de tratamiento deshumidificador, esta agua condensará a lo largo del sistema de distribución cuando el aire se enfríe hasta temperatura ambiente, y que para eliminar este inconveniente es

preciso recoger condensados mediante la instalación de purgadores de drenaje a lo largo del sistema.


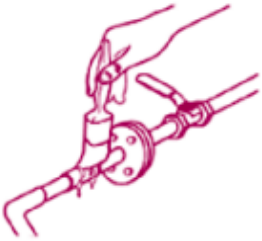

	<p><i>Escuchar</i> - Hacer funcionar el compresor sin demanda de herramientas o equipos consumidores de aire. Asegurarse de que el ruido de fondo es el menor posible y caminar lentamente por el sistema a la escucha de silbidos o sonidos ásperos. Revisar todas las uniones, bridas y válvulas cuidadosamente.</p>
	<p><i>Mirar</i> - Preparar una simple solución de agua jabonosa. Hacer funcionar el sistema sin demanda de herramientas o equipos de aire. Aplicar la solución jabonosa a todas las tuberías (especialmente en articulaciones y empalmes) y luego observar donde se forman burbujas, lo que indica fuga de aire. Este sistema, aunque es engorroso, tiene un nivel de sensibilidad elevadísimo y con su empleo se detectan fugas pequeñísimas.</p>
	<p><i>Detectar</i> - Alquiler o compra de equipos de ultrasonido de detección de fugas suministrados habitualmente por los proveedores de sistemas de aire comprimido. El uso de equipo de ultrasonido es el método más cómodo y conveniente para comprobar si hay fugas.</p>

Figura 18. Métodos de detección de fugas. Fuente: Manual técnico de aire comprimido.

El trabajo de un purgador cursa, en la mayor parte de los casos, con fuga de aire que acompaña al condensado y que es un aire que se pierde, por lo que hay que considerarlo una fuga. La eficiencia de un purgador está directamente ligada a la fuga de aire que permite cuando ejecuta la acción de descarga. Las mejoras de eficiencia asociadas a la purga de agua condensada pasan por el conocimiento de los distintos sistemas de purga existentes y sus características.

El drenaje ineficiente de condensados en las redes de aire comprimido suele ser la mayor causa de fugas y por lo tanto de derroche energético en las redes de aire comprimido. Aunque los drenajes manuales y temporizados son baratos, tienen unos costes de operación elevados debido a la elevada fuga que permiten durante su drenaje. Los sensores de nivel electrónicos son los más eficientes.

Cuando se instalan purgadores electrónicos, hay que asegurarse de que son los adecuados a la localización en la que van a ser instalados. Necesitan dimensionarse conforme a las necesidades de evacuación de condensado. Usualmente sus capacidades están tabuladas en función del tamaño del compresor. Si se sitúan en exteriores, hay que considerar las necesidades de calefacción o aislamiento de los mismos y de las tuberías para evitar congelaciones indeseadas.

1.3.2 CONTROL DE ASPIRACIÓN DEL AIRE

Para un mejor rendimiento del compresor, el aire aspirado debe estar limpio y a una temperatura adecuada, normalmente temperatura ambiente. El aire aumenta su volumen específico con la temperatura por lo que cuanto más caliente esté, menor cantidad de aire en términos máscicos se introduce en cada ciclo de compresión. Esto hace que disminuya el rendimiento del compresor. La situación inversa (menor temperatura) produce un efecto contrario (aumento del rendimiento). Debido a esta razón hay que evitar siempre situaciones en las que la aspiración de aire de alimentación al compresor se realice desde la propia sala de compresores o desde cualquier punto caliente. Cada 4°C de incremento en la temperatura del aire aspirado, aumenta el consumo de energía un 1% para el mismo caudal. El aire debe aspirarse preferiblemente

del exterior a temperatura ambiente y a un mínimo de 2 m de altura. La tubería de aspiración debe ser recta, corta y libre de suciedad. Por cada 25 mbar de pérdida de carga en la aspiración, se provoca una reducción de un 2% en el rendimiento del compresor [1].

1.3.3 RECUPERACIÓN DE LA ENERGÍA TÉRMICA

Se pueden obtener ahorros significativos mediante la recuperación de calor de los compresores. Ya se ha visto que cuando se comprime el aire, se genera calor como una consecuencia natural del proceso. Este calor es habitualmente extraído del aire comprimido por el circuito de refrigeración del compresor. El 72 % de la energía absorbida pasa en forma de calor al medio refrigerante, un 13% se transmite al aire comprimido en la misma forma y hasta un 9% son las pérdidas del motor eléctrico (Ver figura 19). En el caso de motores encapsulados refrigerados por aceite, es posible recuperar incluso el calor de estas pérdidas por medio de una refrigeración adecuada. Hasta un 94% de la energía que consume el compresor puede recuperarse, por tanto, en forma de calor. Solamente el 2% de la energía se pierde por irradiación al exterior, y un 4% permanece en el aire comprimido [1].

Es preciso disponer de equipamiento extra para recoger el calor desperdiciado en los compresores. Se pueden adquirir compresores con unidad de recuperación de calor o bien invertir en unidades de recuperación adaptadas. El coste de inversión es relativamente bajo y si el calor recuperado es utilizable, los ahorros energéticos permiten normalmente periodos de retorno inferiores a 2 años. El tamaño mínimo del compresor, para que sea económica la recuperación de calor, se sitúa en el entorno de los 15 kW.

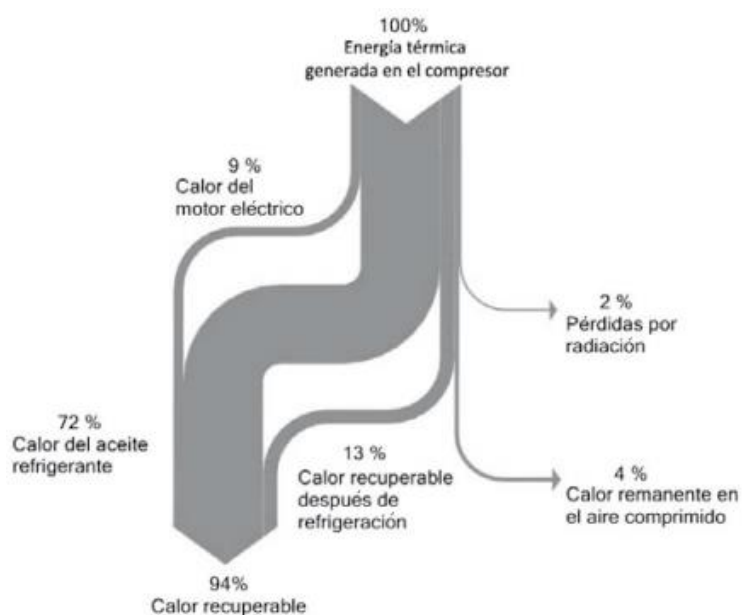


Figura 19. Diagrama de Sankey de flujo térmico en un compresor

Fuente: Manual técnico de aire comprimido

La recuperación de calor de un compresor refrigerado por aire es bastante sencilla. El método más común es el empleo directo de la salida del aire de refrigeración para suplementar la calefacción de recintos. En su forma más simplificada significa colocar el compresor dentro de un área que precise calefacción. De esta manera puede recuperarse aire caliente en el entorno de 50-60°C. Cuando el compresor está situado fuera del recinto a calefactar, es sencillo instalar una conducción para inyectar directamente este aire caliente en el área citada. Sin embargo hay que tener cuidado para evitar la restricción de la corriente del aire de refrigeración del compresor, pues esto producirá una disminución de la eficiencia del mismo.

Los fabricantes de compresores indican las longitudes máximas de conducción que pueden ser utilizadas para recuperar calor. No obstante, si se superan estas

longitudes, siempre es posible el empleo de ventiladores aceleradores suplementarios para asegurar el flujo necesario en el compresor.

En un compresor refrigerado por agua, puede recuperarse calor en forma de agua caliente por encima de 90°C. Esto se realiza habitualmente mediante el empleo de un cambiador de placas generando un circuito cerrado que evite la contaminación del sistema de refrigeración del compresor. Hay que asegurarse de que la refrigeración del compresor no se verá comprometida si el cambiador no demanda calor de forma permanente. La recuperación de calor de los compresores refrigerados por agua es más compleja que en el caso de los refrigerados por aire. La cantidad de calor recuperado en estos sistemas es también menor que en los refrigerados por aire.

Pueden esperarse recuperaciones en la banda del 60% de la energía de entrada. Se puede recuperar calor de todos los tipos de compresores. Especialmente sencillo resulta en el caso de los equipos compactos de tornillo, tanto si son de aceite inyectado como libres de aceite. Hay que poner especial cuidado cuando se emplean compresores centrífugos, pues pueden ser muy sensibles a los cambios en la temperatura del agua de refrigeración.

1.3.4 CONTROL DE LA PRESIÓN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La presión de trabajo afecta directamente a los requisitos de potencia absorbida por el compresor. Una presión más alta significa un mayor consumo de energía que se puede determinar a partir de la ecuación y su influencia en la potencia; el aumento promedio de energía absorbida es de un 8% más por cada 1 bar de aumento de la

presión [1]. El aumento de la presión de trabajo para compensar las caídas de presión afecta siempre a la economía de explotación.

$$HP = 0.038V_oP_o \left[\left(\frac{P_s}{P_o} \right)^{0.145} - 1 \right]$$

Donde V_o es el caudal de aire introducido en el cilindro de baja presión en cfm, P_o es la presión atmosférica absoluta en psi y P_s es la presión final deseada en el cilindro de alta presión en psi.

A pesar de este efecto económico adverso, el aumento de presión del compresor es un método que se usa de forma habitual e inadecuada para superar las caídas de presión causadas por un sistema infra dimensionado.

Cuando existen tuberías obstruidas o filtros colmatados, especialmente si han estado en funcionamiento durante un largo período de tiempo sin ser sustituidos, la caída de presión puede ser significativamente mayor que la nominal y, por lo tanto, muy costosa. En muchas instalaciones, no se pueden implementar reducciones grandes de la presión, pero el uso de los modernos equipos de regulación permite regulaciones de la presión en una banda por debajo de 0.5 bar. Esto representa un pequeño porcentaje de ahorro de energético.

Aunque puede parecer insignificante, si se tiene en cuenta que el total de la eficiencia de la instalación se incrementa en un grado equivalente, el valor de esta reducción de presión en términos de ahorro real se hace más evidente.

1.3.5 CONTROL DE TIEMPOS MUERTOS DE TRABAJO EN VACÍO DE LOS COMPRESORES

Muchos compresores tienen la característica de funcionar alternando ciclos de carga y descarga. Los ciclos de carga son productivos, los de descarga no y en ellos el motor trabaja en vacío arrastrando el compresor sin producir aire comprimido y demandando una potencia de aproximadamente el 20% de su potencia nominal. La relación entre unos ciclos y otros depende de la demanda que tenga la red en cada momento. En función de la situación de explotación de la planta es preciso adecuar la producción a la demanda para que los ciclos de descarga, que suponen tiempos muertos con los compresores funcionando en descarga y por tanto consumiendo sin producir, sean lo más reducidos posible.

El uso de un moderno sistema de control permite programar la operación de la instalación de compresores de manera óptima para diferentes situaciones de explotación, a la vez que se mejora la seguridad y la disponibilidad. La selección del método de regulación en base a la presión óptima más baja y un mayor grado de utilización (eliminación de tiempos muertos con los compresores funcionando en descarga), optimizado para cada máquina de la instalación, redundará en un ahorro de energía. Al mismo tiempo, aumenta el tiempo de disponibilidad, lo que reduce el riesgo de paradas imprevistas.

Además, un control central permite la programación para la reducción automática de la presión en todo el sistema durante la operación de la noche y los fines de semana. Como el consumo de aire comprimido rara vez es constante, la instalación del compresor

debe tener un diseño flexible, utilizando una combinación de compresores con capacidades diferentes y motores con velocidad controlada. Los compresores deben funcionar a la velocidad de control adecuada para cada momento.

Los compresores de tornillo son especialmente adecuados para esto, ya que su caudal y su consumo energético son prácticamente proporcionales a su velocidad.

1.3.6 EMPLEO DE COMPRESORES EFICIENTES

Existen diversas maneras de hacer más eficiente un sistema existente de aire comprimido, pero en algún punto de su desarrollo puede llegar a plantearse la posibilidad de invertir en nuevos compresores. La elección del compresor más adecuado puede conducir a obtener los mejores ahorros junto a un adecuado periodo de retorno de la inversión. Cada instalación es singular, por lo tanto no existe una solución única y definitiva al problema de instalar un nuevo compresor. Tampoco hay una respuesta sencilla a la pregunta sobre cuándo un nuevo compresor proporcionará unos ahorros rentables de energía. Los puntos a considerar a la hora de decidir la conveniencia de cambio en la capacidad de un compresor son habitualmente los mismos, independientemente del tamaño del compresor.

1.3.7 CONTROL DE LA VELOCIDAD DE LOS COMPRESORES

La primera elección a la hora de instalar un nuevo compresor, a menudo suele ser la tecnología VSD (velocidad variable). VSD ha sido, probablemente, el desarrollo en términos de eficiencia energética más importante de los últimos años en el campo de los compresores. Sin embargo, a pesar de su eficiencia, no constituye una solución

universal. Los compresores VSD no son adecuados para todas las aplicaciones. Si trabajan con un nivel de carga muy elevado, pueden resultar más caros que trabajar con un compresor de velocidad fija. La mayoría de las instalaciones solo requieren de una máquina VSD para controlar las variaciones de la demanda.

Se deben utilizar siempre unidades de compresor estándar (no VSD) como máquinas de carga base. Si una instalación cuenta ya con un grupo de compresores de capacidades diferentes, un buen sistema de control del grupo puede proporcionar ahorros similares a un VSD a un coste mucho más bajo. Además, a la hora de tomar una decisión, hay que tener en cuenta que el coste de adquisición de una máquina VSD es alrededor de un 25% más elevado y este sobrecoste hay que amortizarlo en la vida del compresor.

Cuando se considera la adquisición de un compresor VSD, es preciso analizar la demanda cuidadosamente, para asegurarse de que operará de manera más eficiente que mediante una unidad de velocidad fija. Hay que comprobar el rango de regulación, comparando las variaciones entre fabricantes. Si se piensa en incorporar una máquina VSD dentro de un sistema existente, hay que asegurarse también de que la interacción entre las máquinas de velocidad fija y la VSD es la correcta. Si los tiempos de reacción y de los ajustes de presión son incorrectos, los de velocidad fija y los VSD puede llegar a competir entre sí, lo que aumentaría significativamente los costes de funcionamiento.

1.3.8 CONTROL DE LA DEMANDA ARTIFICIAL

Suele confundirse el término “Demanda Artificial” con el mal uso del aire comprimido, usos tales como barrer el suelo con una pistola de aire por ejemplo. Sin

embargo, la búsqueda de verdaderos ahorros de energía con inversiones mínimas ha revelado que la gran mayoría de las plantas, presurizan su red de distribución a valores mayores de lo que realmente necesitan para operar los dispositivos neumáticos. Es común escuchar la frase: “sube la presión que necesito más aire”, y conforme a las leyes de la física, en realidad lo que ocurre es que al subir la presión el compresor entrega más aire y todos los usuarios, incluidas las fugas, consumen más aire. La mayoría de los dispositivos de uso final en un sistema de aire comprimido actúan como orificios o como un agujero en la tubería. Cuanto mayor sea la presión en la tubería, mayor será el flujo de aire a través del dispositivo.

La tensión dinámica que ejercen múltiples usuarios, que en ocasiones superan en forma instantánea la capacidad instalada, y el tiempo que les toma a los compresores bombear, puede causar fuertes variaciones de presión en una red de distribución. La respuesta más común de los encargados del sistema para evitar las variaciones es incrementar la presión de la red, incrementando el consumo de potencia eléctrica y la demanda artificial. Además y unido a todo este razonamiento, hay que tener en cuenta que al elevar en 1 bar la presión del sistema, se genera un consumo adicional de 8% de energía eléctrica. La solución a este tipo de problema pasa por el control del flujo en la red mediante dispositivos especialmente diseñados al efecto.

1.3.9 MONITORIZACIÓN AUTOMÁTICA DEL COMPRESOR

Todos los compresores están equipados con algún tipo de equipo de monitorización para proteger el compresor y evitar su funcionamiento improductivo. Para detectar el estado actual de la instalación se emplean transductores. La información de

los transductores se procesa por el sistema de monitorización, que genera una señal destinada a un actuador, por ejemplo. Un transductor para medir, por ejemplo, la presión o la temperatura, habitualmente consiste en un sensor de medición y un convertidor. El sensor detecta el valor del parámetro a medir.

El convertidor de medida transforma la señal de salida del sensor en una señal eléctrica adecuada para ser procesada por el sistema de control. Los equipos de control están adaptados al tipo de compresor. Esto implica necesariamente una amplia gama de equipos para adaptarse a todo tipo de compresores. Un pequeño compresor de pistón solo está equipado normalmente con un detector de sobrecarga convencional que actúa sobre la desconexión del motor, mientras que un compresor de tornillo de gran tamaño puede contar con un gran número de transductores de sobrecarga, temperatura, presión, etc.

En las máquinas pequeñas, las más básicas, cuando el control del equipo desconecta el compresor, la máquina no se puede reiniciar hasta que no se ha eliminado la causa de la alarma. Una lámpara de advertencia puede, en algunos casos, indicar la causa de esta alarma.

Para compresores más avanzados, la operación del compresor puede ser seguida sobre un panel de control, por ejemplo, leyendo directamente la presión, temperatura y el estado. Si el valor de un parámetro se aproxima al límite de alarma, el equipo de control emitirá una advertencia. Se pueden tomar medidas antes de que el compresor pase a la situación de apagado. Si el compresor se apaga debido una alarma, el compresor se

bloquea, no reiniciándose hasta que la causa de fallo haya sido eliminada o el compresor se reinicie de forma manual.

La resolución de problemas en un compresor se facilita de forma significativa en los compresores equipados con una memoria donde los datos sobre la temperatura, la presión y el estado de funcionamiento están almacenados en el sistema. La capacidad de la memoria puede cubrir un periodo variable según el sistema de que se trate. Esta característica permite analizar las tendencias y resolver problemas lógicos que pueden ser utilizados de forma rápida para identificar las razones de inactividad del sistema.

La exigencia fundamental de un sistema de control de un compresor es que sea capaz de mantener una presión predeterminada dentro de límites estrechos y proporcionar un funcionamiento económico de la instalación. Para lograr esto, el control debe ser capaz de predecir qué va a pasar en el sistema, y al mismo tiempo detectar la carga en el compresor. El sistema detecta la velocidad con la que se producen cambios en la presión en uno u otro sentido (es decir, la derivada de la presión respecto del tiempo). Con estos valores, el sistema puede realizar los cálculos que permitan predecir la demanda inminente de aire y, por tanto actuar para descargar/cargar o iniciar/parar las máquinas. Para un dimensionado correcto de la instalación, la fluctuación de presión se mantendrá dentro de ± 0.2 bar.

Es de suma importancia para la eficiencia operacional que el sistema central de control seleccione el compresor o la combinación de compresores más económica, si el sistema está configurado por compresores de diferentes capacidades. Los compresores trabajan así en carga prácticamente continua, minimizando los períodos de

funcionamiento en vacío y proporcionando una economía óptima. Otra de las ventajas de un sistema integral de control es que, por lo general, se pueden conectar máquinas más antiguas a estos sistemas y, por lo tanto, se moderniza la instalación de manera relativamente fácil. Las operaciones se vuelven más económicas y la disponibilidad es mayor. En determinadas instalaciones de compresores, puede existir la necesidad de vigilar y controlar las operaciones del compresor desde una ubicación remota.

En instalaciones grandes, donde la inversión que está en juego es muy significativa, el control central es a menudo deseable. Debe consistir en un equipo que ofrezca una visión continua del sistema, y que también proporcione acceso a las distintas máquinas con el fin de controlar los detalles, como la presión del intercooler, temperatura del aceite, niveles, etc.

El sistema de monitoreo también debe tener una memoria con el fin de guardar un registro de lo que ha sucedido, como mínimo, en las últimas 24 horas. El registro se utiliza para trazar las curvas de tendencia, que sirven para identificar fácilmente los valores que tienden a desviarse de la opción predeterminada.

1.3.10 CONTROL SOBRE LAS APLICACIONES INADECUADAS

Es frecuente encontrar instalaciones donde se emplea el aire comprimido para realizar operaciones que pueden ser consideradas como inadecuadas, debido a que responden a un diseño que puede ser sustituido por otro más eficiente y mucho más barato. Siempre que sea posible, se debe evitar el uso del aire comprimido para aplicaciones de secado. En la industria de conservas de alimentos por ejemplo, se utilizan láminas de aire para soplar el exceso de agua de las latas, lo que acarrea un

gran coste en términos de la energía requerida para comprimir el aire empleado. Por cada 100 unidades de electricidad que entran en el compresor, tan solo 10 unidades estarán disponibles para su uso en forma de aire comprimido, en cuyo caso, el aire que sale del compresor normalmente costaría el equivalente a más de \$1.18/kWh. Una vez más, las soluciones alternativas, tales como ventiladores o incluso con el calor evacuado por el compresor, deben ser consideradas en orden a elegir la más eficiente.

2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO.

La guía metodológica para que tengan un respaldo teórico y sea aplicable en cualquier instancia se desarrollada basada en la norma UNE-216501 (2009): Requisitos de auditoría energética. Teniendo en cuenta que las auditorías energéticas se establecen como una herramienta que permite a las organizaciones conocer su situación respecto al uso de energía. Dicha norma presenta de manera general los lineamientos de las auditorías energéticas para cualquier sistema por lo que será necesario adaptarla al contexto de los sistemas de aire comprimido.

A continuación se muestran de manera general los pasos a seguir para poder completar un proyecto de evaluación de la eficiencia energética:

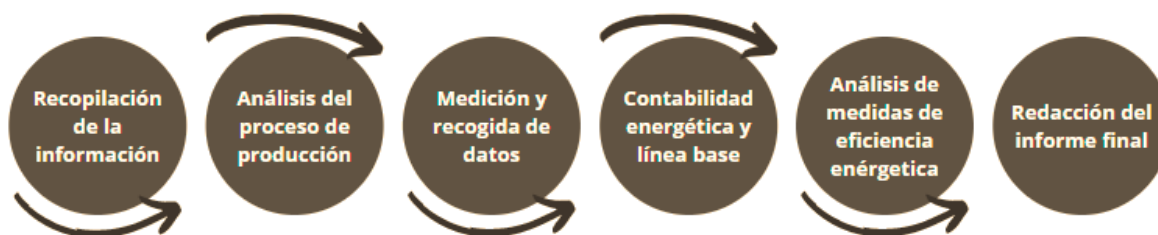


Figura 20. Etapas de guía metodológica. Fuente: Elaboración propia.

2.1 PREPARACIÓN Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Este trabajo se realiza de manera preliminar y en caso sea una empresa externa quien llevará acabo la metodología se puede hacer sin necesidad de visitar la instalación,

sin embargo, es necesario que la empresa analizada entregue los planos, documentos, facturas y que indiquen su estado de actualización. En caso de faltar alguno de estos elementos será necesario obtenerlos con visitas a la empresa, en caso de que lo realice una empresa externa, o delegar a personal de la empresa hacer dichas mediciones. Es necesario investigar y solicitar información referida al historial de proyectos desarrollados en temas de energía, desarrollados con anterioridad en la empresa, además proyectos de ahorro energéticos, mediciones, auditorías, líneas base, benchmarking, otros. De manera general se podría decir que los cantidad de datos a recoger de la planta son los siguientes:

- Descripción de la instalación. Descripción de las áreas principales de trabajo donde se utilice el aire comprimido, el consumo medio que se tiene en cada área y además una breve explicación del sistema de aire comprimido, desde la generación hasta sus puntos de consumo.
- Facturas y boletas de electricidad. Las facturas se recomienda sean de años atrás para evaluar la tendencia del consumo de energía.
- Planos. Se deben entregar todos los planos con los que cuente como lo son layout de la empresa, instrumentación para aire comprimido, isométrico de cañerías y disposición de equipos. En caso de que no cuenten con los planos es necesario elaborarlo porque a partir de estos se pueden generar propuestas para el mejoramiento de la eficiencia.
- Tiempo de funcionamiento de los equipos y puntos de consumo. En caso de tener disponibilidad del perfil de consumo de aire comprimido adjuntarlo.

- Listado de materiales, inventario de equipos y especificaciones técnicas. Incluyendo todos los equipos pertenecientes al sistema de aire comprimido desde la generación de aire comprimido hasta los puntos de consumo. En caso de no contar con las hojas de especificaciones técnicas de cada equipo se debe obtener mediante investigación e indicar los siguientes aspectos para los compresores:
- Fabricante.
 - Modelo.
 - Año de compra o adquisición.
 - Tipo.
 - Voltajes/Fases.
 - Potencia nominal.
 - Eficiencia.
 - Presión nominal.
 - Etapas.

2.2 ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

El análisis de producción como su nombre lo indica, tiene por objetivo efectuar un análisis de las distintas operaciones que componen la planta. Tiene carácter global y contempla la descripción de los productos, así como todos los procesos necesarios para elaborarlos, desde la materia prima hasta el embalaje y envío. Las actividades que se proponen para completar exitosamente esta etapa contemplan:

1. Descripción del proceso: Entiéndase como proceso al conjunto de labores que se llevan a cabo para poder transformar las materias primas y convertirlas en

productos. Se debe aclarar las aplicaciones del aire comprimido durante el proceso, por ejemplo si se utiliza solo para activar válvulas, bombas, filtros, para instrumentación o si tiene aplicaciones más grandes como empacadoras, troqueles, sopletes entre otras. Además indicar la tasa de producción de productos de la empresa.

2. Describir los productos de la planta: Como resultado del proceso se obtienen una serie de artículos o productos los cuales deben ser descritos en tamaño, forma, peso, etcétera.

Al finalizar esta etapa se debe conocer principalmente:

- Diagramas de proceso.
- Operaciones básicas.
- Otros datos generales del proceso.

2.3 MEDICIÓN Y RECOGIDA DE DATOS

Esta etapa del proyecto tiene como objetivo recoger la cantidad suficiente y significativa para el objeto de estudio, este trabajo complementa a la primera parte del proyecto (recogida de información) pero su carácter es significativamente más profundo. Las medidas deben ser definidas con objetivos y requerimientos y dependen del estado de información que se tenga desde la recopilación de la información y el estado de los análisis realizados. En ella se debe verificar el trabajo realizado en el análisis del proceso de producción, al comenzar el proceso de medición se debe evaluar:

- La información disponible resultado de la toma de datos.

- El análisis de la información recopilada.

En el caso de que la información no es suficiente, se complementa con la realización de las medidas de los parámetros reales en campo, todas las que sean necesarias para poder completar el proceso de recogida de datos.

Para mediciones en sistema de aire comprimido, que establece una serie de mediciones recomendadas, así como sus objetivos y la forma en que se miden. Las mediciones más importantes e imprescindibles son:

1. Consumo de aire comprimido:

En ocasiones se conocerá con exactitud los consumos de algunos equipos del sistema de aire comprimido mencionados en los apartados anteriores, pero lo más normal es que tengamos que hacer una aproximación del consumo medio y del número de consumidores. Lo ideal ante un requerimiento es realizar una auditoría de aire comprimido cuando la empresa está funcionando en su plena temporada productiva, donde se medirá el consumo de aire comprimido, la comparativa de presión en la generación versus en las bocas de consumo, los consumos energéticos. Pero lo anterior no siempre es posible por lo que se puede recurrir a ciertas técnicas aproximadas, por ejemplo la empresa Kaeser define la siguiente metodología para definir el consumo el aire comprimido donde se tienen en cuenta ciertos puntos que se detallan a continuación:

- ✓ Factor de utilización (FU): Es la etapa durante el cual los consumidores están activos en un período de trabajo. La mayoría de los pequeños consumidores neumáticos no están en uso continuo. Se encienden y se apagan en función del momento de su utilización. Se debe analizar el proceso para calcular el tiempo

promedio de uso y así definir la demanda de aire requerida. Para ello debemos medir el tiempo en minutos del uso en una hora y determinamos el factor de uso mediante la ecuación 1:

$$FU = \frac{\text{Tiempo en minutos}}{60 \text{ minutos}} \times 100\%$$

- ✓ Factor de simultaneidad (FS): Valores empíricos para la utilización de consumos similares en una estación de trabajo. Es un valor basado en la experiencia y la arquitectura del proceso. Definiendo qué equipos se están operando al mismo tiempo para obtener el caudal simultáneo consumido en el proceso con la ecuación 2:

$$FS = \frac{\text{Cantidad de operarios}}{\text{Cantidad de maquinas neumáticas}} \times 100\% \quad (2)$$

Un ejemplo para mayor entendimiento del factor de simultaneidad es el siguiente: Para la producción se requiera tres cortadoras neumática y tres destornilladores, siendo necesarios tres operarios para el trabajo. El número de operarios implica que no podrán estar las 6 herramientas en funcionamiento al mismo tiempo. En la operatoria solo podrá funcionar simultáneamente tres cortadoras neumática o tres destornilladores, dos equipos y uno diferente, lo que resulta un 50% del total de los equipos disponibles, con un factor de simultaneidad de 0.50. Esta misma hipótesis aplicaremos al resto de la maquinaria neumática.

- ✓ Otros factor para tener en cuenta son las pérdidas por fugas, este es un valor muy discutido pero en todos los casos se debe considerar un valor del 5% o 10% extra

del consumo total. Por lo que se puede decir el consumo de un dispositivo será determinado por la ecuación 3:

$$\text{Consumo de aire comprimido} = FU \times FS \times FPP \times \text{Consumo del dispositivo} \quad (3)$$

En caso de no conocerse los consumo de placa de los dispositivos mirar en el anexo A, donde se colocan los consumos para las principales herramientas neumáticas.

2. Estimación de fugas de aire

Las fugas de aire representan la principal pérdida en los sistemas de aire comprimido en redes con poca mantención, es común que adoptar esta medida sea la que otorgue más ahorro con un rápido período de recuperación a la inversión. Mientras que nuevos o bien mantenidos el porcentaje de pérdidas debido a las fugas debería ser cercano al 10%, en sistemas mantenidos de forma deficiente alcanzan valores de 30-40% [5]. Para la determinación de las pérdidas se utilizan los siguientes métodos como aproximaciones a las pérdidas por fuga de aire, estas consisten en aprovechar los métodos de control de los compresores cuando:

✓ Método de control on/off.

Las fugas en un sistema de compresión de aire que cuenta con un sistema de control on/off, se pueden estimar en términos de mediante los siguientes pasos:

1. Apagar todos los usos finales y máquinas operadas por aire.
2. Encender el compresor cuando no haya demanda en el sistema y llevar la presión del tanque hasta su punto de operación (primera parada del compresor).

3. Registrar los tiempos donde el compresor enciende y apaga para un ciclo de carga, ambos en minutos.
4. Calcular un porcentaje del tiempo en que el compresor permanece encendido mediante la ecuación 4:

$$L_f = \frac{T}{T + t} \times 100\% \quad (4)$$

Donde:

- ◆ L_f : porcentaje de fugas de aire con respecto al aire generado (%)
- ◆ T : Tiempo en que el compresor está encendido (min)
- ◆ t : Tiempo en que el compresor está apagado (min)

Luego el aire que se pierde por fugas es:

$$q_f = q_r \times L_f \quad (5)$$

Donde:

- ◆ q_f : Caudal del flujo que se pierde por fugas.
- ◆ q_r : Caudal de flujo medido del sistema.

✓ **Manómetro a la salida del depósito de aire.**

Otra forma de estimar la fuga de aire del sistema es mediante la estimación del volumen del sistema, los pasos a seguir son:

1. Estimar el volumen total del sistema incluyendo secadores, recipientes secundarios, líneas de tuberías y cualquier elemento significativo.

2. Se enciende el sistema y se lleva hasta la presión de operación (P1).
3. Se registra el tiempo (T) que le toma al sistema caer hasta una presión (P2) igual a la mitad de la de operación del sistema.
4. Las pérdidas se calculan mediante con la ecuación 6:

$$q_f = 1.25 \frac{V(P_1 - P_2)}{txP_{atm}} \quad (6)$$

Donde:

- ◆ V : Volumen del sistema (m^3)
- ◆ P_1, P_2 : Presión inicial y final en bar
- ◆ P_{atm} : Presión atmosférica en bar.
- ◆ t : Tiempo (min)
- ◆ Se utiliza un multiplicador de 1.25 para corregir la pérdida a la presión normal del sistema.

Las fugas, en cuanto a porcentaje, están dadas por:

$$L_f = \frac{q_f}{q_r} \times 100\% \quad (7)$$

3. Presión de descarga de los compresores.

Para conocer el valor óptimo de presión ajustada se utilizará la siguiente ecuación:

$$P_{set} = P_{min-req} + \Delta P_{long \text{ y } accesorios} + \Delta P_{filtros} + \Delta P_{secadores} \quad (8)$$

A continuación se explicará la expresión anterior y de donde se va a obtener la información:

- ✓ La $P_{min-req}$ se refiere a la presión que debe ser entregada al usuario para que funcione correctamente (En la unidad de medida congruente con las demás caídas de presión).
- ✓ Las caídas de presión por longitud y accesorios se van a obtener de las dimensiones de la instalación ya existente y aplicando la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{long y accesorios} = \frac{1.782 \times 10^{-11} Q^2}{\pi^2 D^4} \left[\frac{fL}{D} + \Sigma k \right] \rho \quad \text{[bar]} \quad (9)$$

Donde:

- ◆ f : Factor de fricción. Para calcular utilizar la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{\left(-1.8 \log \left(\left(\frac{\varepsilon}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right) \right)^2} \quad (10)$$

- ◆ L : Longitud de la tubería hacia la ruta crítica [m].
- ◆ Q : Caudal que circula por la tubería [cfm].
- ◆ Σk : Sumatoria de coeficientes de pérdidas por accesorios.
- ◆ Re : Número de Reynolds. Para calcularlo:

$$Re = \frac{1.8878 \times 10^{-3} Q}{\pi D \nu} \quad (11)$$

Donde Q en cfm, D en metros y la viscosidad cinemática en m²/s.

- ◆ Para calcular la densidad del aire se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{P_{abs-sistema}}{RT} \quad (12)$$

- ✓ La caída de presión por filtros se tomará de la hoja de datos que brinda el fabricante (En la unidad de medida congruente con las demás caídas de presión).

- ✓ La caída de presión por secadores se tomará de la hoja de datos que brinda el fabricante (En la unidad de medida congruente con las demás caídas de presión).

2.4 CONTABILIDAD ENERGÉTICA Y LÍNEA BASE

El objetivo de este apartado es:

- ✓ Asignar, cuantificar y documentar los consumos de energía de los equipos encargados de la generación y distribución de aire comprimido, energía total utilizada y sus costos.

En muchas ocasiones los equipos cuentan con una placa en la cual se especifican las principales características técnicas de este, para conocer la potencia de un equipo trifásico se utiliza la siguiente expresión:

$$P = \frac{\sqrt{3}IV \cos \theta}{1000} \quad [\text{kW}] \quad (13)$$

Donde I es la corriente en amperios, V es voltaje en vatios y el $\cos \theta$ es el factor de potencia de la empresa. Para determinar el consumo de los equipos es necesario definir el tiempo durante el cual estos operan, normalmente se establece en horas, ya sea diarias, mensuales o anuales y aplicar la siguiente ecuación:

$$E_m = P\Delta T \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

Para realizar la contabilidad energética se necesita como mínimo el acceso a facturas eléctricas de la empresa en un periodo prolongado de al menos un año o se puede la alternativa de establecer los usos en horas para cada uno de los elementos del sistema de aire comprimido. Como mínimo la contabilidad energética debe poder

establecer un valor para la cantidad de energía consumida de manera diaria, para el cual es necesario calcular:

$$C_{diario} = \frac{E_{ac}}{d} \quad (15)$$

Donde:

- ◆ C_{diario} : Consumo diario de la energía [kWh/d]
- ◆ E_{ac} : Consumo de energía facturado [kWh]
- ◆ d : días del mes de facturación

La realización de la línea base es necesario puesto que representa el comportamiento energético actual y actúa como referencia al momento de implementar las oportunidades de mejora. La línea base, por tanto, viene a ser el escenario más probable que hubiese ocurrido en la ausencia del proyecto de mejora energética en aire comprimido y representa el estado de la planta, funciona como punto base para comparar el desempeño de las propuestas de mejora. La línea base debe abarcar un intervalo de tiempo que sea representativo con respecto al consumo energético para lograr unos ahorros energéticos anuales en la organización. Se puede generar más de una línea base en caso sea necesario, por ejemplo si se desea monitorear cuál es su consumo de energía por unidades producidas en un mes o servicios brindados durante un periodo de tiempo y al mismo tiempo monitorear el consumo de energía respecto a lo largo de los días del mes, esto será decisión de quien esté aplicando la metodología. En la metodología de manera inicial para la generación de la línea base se utilizarán los

consumo energético diario de cada mes, será este el punto de referencia con el cual se analizará si las medidas de eficiencia tuvieron un efecto positivo o negativo.

En el análisis de la eficiencia energética de un sistema de aire comprimido existe un parámetro llamado Índice de Aire Comprimido (IAC) o consumo específico es la potencia necesaria para generar una determinada cantidad de aire [kW/(m³/min)], a menudo se expresa en [kWh/Nm³], se considera que un sistema de aire comprimido genera aire de una manera aceptable si opera en una determinada región que varía según la presión de operación. El índice de aire comprimido se logra mediante la integración del perfil de energía y el perfil de flujo. El consumo específico representa un índice con el cual se puede evaluar de forma rápida la generación de aire comprimido de un sistema, está dado por:

$$IAC = \frac{35.32P_m}{q_{fad}} \quad (16)$$

Donde:

- ◆ P_m : Potencia promedio medida en una unidad generadora [kW]
- ◆ q_{fad} : Caudal de aire generado por la unidad generadora [cfm]

Posteriormente se lee de la siguiente gráfica:

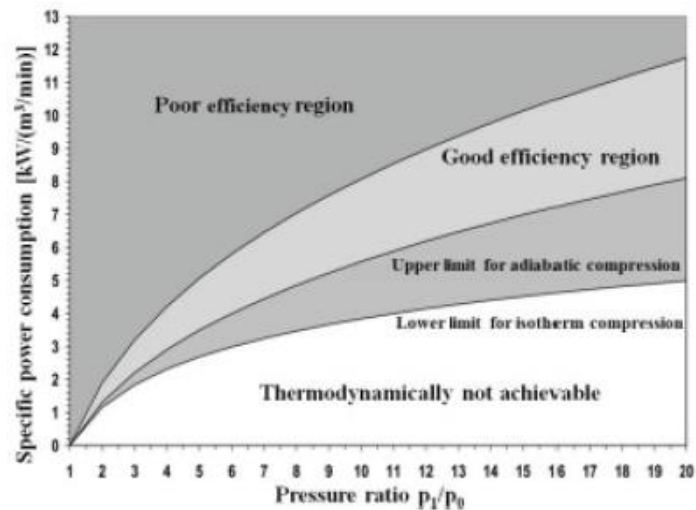


Figura 21. Índice de aire comprimido. Fuente: Palacios, 2019

2.5 MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Las medidas de eficiencia energética recomendadas para aire comprimido son las siguientes:

✓ REDUCCIÓN Y REPARACIÓN DE LAS FUGAS DE AIRE.

Las fugas de aire son un problema constante en los sistemas de aire comprimido. La razón por la que las fugas de aire se convierten en un problema tan importante es que las mangueras de aire con fugas no crean un desorden como lo hacen las líneas hidráulicas o de agua. Además, la mayoría de las fugas de aire no representan un peligro para la seguridad como lo haría una línea de gas con fugas. Por lo tanto, a menos que la fuga sea lo suficientemente grande como para crear algún tipo de problema, la mayoría del personal no la nota en absoluto. Cuando una fuerza laboral alberga una actitud de indiferencia con respecto a las fugas de aire, pueden crecer hasta el punto de ser muy costosas.

Esta propuesta que se presenta tiene factibilidad operativa, ya que con la implementación de la misma, no se interrumpe ningún proceso productivo, y las inspecciones se hacen con las máquinas en funcionamiento.

Los ahorros resultantes por reparación de las fugas de aire comprimido pueden ser significativas. La energía que se ahorra por reparación de aire comprimido, Herrera et al (2020) establece que se puede estimar como:

$$E_{SF} = L_f * FL * H * CCAF * FU \quad (17)$$

Donde:

- ◆ E_{SF} = Perdidas de energía por fugas [kWh]
- ◆ FL = Potencia nominal del compresor en KW.
- ◆ H : Horas de operación del sistema anualizado.
- ◆ $CCAF$: Factor de corrección de tipo de sistema de control del compresor.

TABLA 1. VALORES DE CCAF SEGÚN EL TIPO DE CONTROL USADO.

Fuente: Palacios, 2010.

Método de Control	CCAF
Reciprocante On/off	1,00
Reciprocante Load/Unload	0,74
Tornillo - LoadUnload	0,73
Tornillo - LoadUnload 1 gal/CFM	0,43
Tornillo - LoadUnload 3 gal/CFM	0,53
Tornillo - LoadUnload 5 gal/CFM	0,63
Tornillo - LoadUnload 10 gal/CFM	0,73
Tornillo - Entrada Variable	0,30
Tornillo - Desplazamiento variable	0,60
Tornillo - VSD	0,97

Una vez las fugas son estimadas y se obtiene un porcentaje considerable de ellas (sobre el 10%), es necesario saber en qué parte de la red se producen. El objetivo de la localización de las fugas es poder identificar y luego eliminar las fugas en todo el sistema de aire comprimido. Es común que las fugas se presenten principalmente en:

- Acoplamientos, mangueras, tubos y accesorios.
- Reguladores de presión.
- Trampas de condensación abierta y válvulas.
- Juntas de cañerías y desconexiones

Aunque se tengan lugares con más probabilidades de tener fugas, éstas son prácticamente imposibles de ver y a menudo de escuchar de manera convencional. La mejor manera de detectar las fugas es por medio de dispositivos ultrasónicos, utilizando un equipo de detección es posible cuantificar el número, ubicación y cantidad de aire que se desperdicia por éstas.

Los dispositivos de detección ultrasónicos permiten la detección de las fugas sin tener que parar la planta. Su funcionamiento consiste en la detección de las altas frecuencias de la turbulencia del aire cuando cambia de presión en las fugas. Dependiendo de la presión y la intensidad de la fuga registrada es posible conocer el tamaño de ésta. Otros tipos de detección de fugas son:

- Detección por burbujas de jabón.
- Detección infrarroja.

Para una exitosa implementación de un programa de detección de fugas es necesario que se cumpla los siguientes requisitos:

- Entrenamiento del personal en el uso del equipo.
- Definir un procedimiento, como los establecidos anteriormente, para la correcta inspección .
- Establecer rutinas regulares de inspección por áreas.

Se debe inspeccionar el sistema regularmente e instruir a los trabajadores para que informen cualquier fuga que puedan encontrar, independientemente de su tamaño. Una vez que se informe, hay que arreglarla porque la detección de fugas no disminuye el consumo, la reparación de estas sí. La adhesión rigurosa a un programa como este probablemente hará más para ahorrar dinero a la empresa que cualquier otra cosa con respecto al sistema de compresión.

✓ **REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN DE DESCARGA DE LOS COMPRESORES.**

La presión de operación de la red afecta directamente en la cantidad de aire que tiene que producir el compresor y, por consiguiente, el uso de la energía que requiere el compresor, la presión además aumenta directamente las fugas de aire. Bajar la presión que necesita la red (medida desde la presión de operación del estanque principal) disminuye significativamente la energía que utiliza un CAS, según por cada 1 bar de incremento en la presión, la energía necesaria para producir aire aumenta en un rango de 5% y 8% [1].

El reducir la presión de descarga se podrá obtener algunos beneficios como reducir los niveles de fugas aunque no de manera definitiva, se dice que por cada 1 bar que se reduzca la presión de descarga, las fugas se reducen en un 0.5%, lo que mejorará el desempeño global del sistema, aumentando con ello la capacidad del sistema, se

disminuye la demanda artificial. Por otro lado, se reducen los esfuerzos en los componentes de los equipos de compresión lo que se refleja en un menor consumo de energía eléctrica.

Debido a lo anterior se considera importante verificar la posibilidad de reducir la presión de descarga de los compresores de la planta. Para determinar el ahorro energético y económico esperado, Herrera et al (2020) establece la siguiente ecuación:

$$E_{RP} = A * FL * FC * H \quad (18)$$

Donde:

- ◆ E_{RP} : Ahorro por reducción de la presión [kWh].
- ◆ A : Porcentaje de reducción.
- ◆ FL : Potencia del compresor [kW].
- ◆ FC : Factor de carga. Este se calcula de la siguiente forma:

$$FC = \frac{kWh \text{ consumidos por el compresor}}{kWh \text{ totales consumidos en el sistema de aire comprimido}} \quad (19)$$

- ◆ H : Horas de operación.

Para calcular el consumo de energía cuándo se utiliza esta medida de eficiencia energética hay que tener en cuenta que las fugas aunque se reduzcan no desaparecen por completo por lo que es necesario considerarlas, en el caso de que se apliquen ambas medidas de eficiencia energética se podría llegar a asumir que las fugas serán del 10% independiente del descenso de la presión.

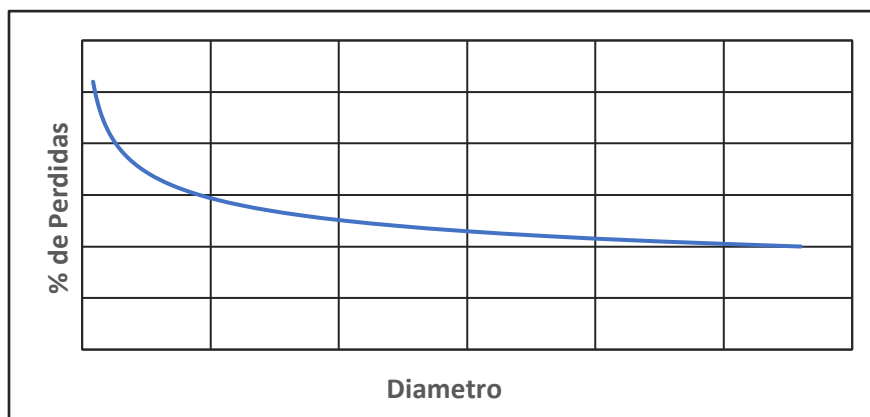
Para reducir la presión de descarga del compresor se debe analizar la ecuación 8, donde se pueden identificar los siguientes factores de los cuales depende la presión:

- **Perdidas primarias y secundarias.** Las pérdidas principales en los sistemas de aire comprimido son las que ocurren debido al rozamiento del aire contra las paredes de la tubería. Las pérdidas dependen en gran medida del largo del tramo crítico y del diámetro por lo que la correcta selección de estos traerá consigo un sistema de aire comprimido más eficiente. En cuanto a las pérdidas secundarias van de la mano de los distintos accesorios como trampas de condensado, codos, válvulas, etcétera que se agregan al sistema para que pueda haber un correcto funcionamiento. En definitiva el trabajo previo, es decir, el proceso de diseño del sistema juega un papel muy importante en la eficiencia de los sistemas. Desde el punto de vista de la eficiencia energética, el diseño del sistema es el proceso de ubicar geométricamente el compresor de aire, las tuberías de aire y las estaciones de trabajo para obtener la máxima eficiencia y economía de la planta. Al tener una correcta ubicación de la sala de compresores se interviene directamente en dos de los elementos que engloban las pérdidas, largo de la tubería y accesorios. La ubicación puede lograr disminuir la distancia entre la sala de compresores y el punto de consumo de aire más crítico además de disminuir la cantidad de accesorios que se colocarán entre la sala y este punto de consumo. Por otro lado se tiene el diámetro para la selección de éste hay que tener en cuenta el caudal de aire comprimido que circulará por la sección y la velocidad a la cual es necesario que este circule, entre mayor sea la velocidad se necesitará un menor diámetro por ende habrá menos pérdidas. Pero es indispensable evaluar el diámetro frente al porcentaje de ahorro de pérdidas (Ver gráfico 3) que representa

cada uno ya que a partir de cierto diámetro este porcentaje será insignificante frente al anterior.

GRÁFICO 3. DIÁMETRO VS % DE PÉRDIDAS.

Fuente: Elaboración propia.



- Material de la tubería. Existen tuberías de diferentes materiales para conducir el aire comprimido a los puntos de uso. Para elegir la más conveniente es necesario realizar una evaluación y conocer sus características. Las tuberías que se utilizan para transportar aire comprimido están disponibles en distintos materiales, como plástico, acero y aluminio, entre otros. Si bien el acero ha sido el material de instalación más tradicional y con el que mayor experiencia se ha acumulado, hoy en día los instaladores disponen de cinco tipos de cañerías para la distribución de aire comprimido. La tubería galvanizada es quizás la más común para conducir aire comprimido. Es un material con el que los técnicos instaladores están muy familiarizados. El revestimiento galvanizado prolonga la vida útil de la tubería y la protege contra el óxido. La desventaja de este tipo es su alto coeficiente de fricción que aumenta la caída de presión de la red además de ser susceptible a la corrosión. La tubería de acero inoxidable corrige el problema de corrosión o

degradación de su interior por lo que es muy útil para aplicaciones sanitarias aunque su costo es elevado. Las tuberías de aluminio contribuyen a la reducción de pérdida de carga debido a que su interior es liso y a la vez resistente a la corrosión, además de tener un costo menor a comparación del acero inoxidable. La tubería de plástico es la más barata del mercado y posee una buena resistencia a la corrosión pero presenta desventajas como que su uso es muy peligroso debido a que el aire se comprime dentro de la tubería por lo que podría hincharse y explotar además con el tiempo se deteriora y se vuelve quebradiza lo que aumenta la posibilidad de fuga.

- Filtros y secadores. Las caídas de presión en estos vienen dadas en las hojas técnicas de los fabricantes. En la actualidad se trabaja para desarrollar tecnologías que presenten menores pérdidas pero en gran medida las pérdidas en estos dependen de las condiciones en las que se encuentren por lo que un mantenimiento frecuente y programado es una buena herramienta para mantenerlos operando dentro de un rango factible para la operación.

✓ **TEMPERATURA EN LA TOMA DE AIRE.**

Los compresores suelen estar ubicados en locales dentro de las instalaciones o en casetas adyacentes construidas específicamente para ellos. El aire normalmente se toma del interior de estos edificios a mayor temperatura que el exterior, debido al calor disipado por los compresores y sus motores. A temperaturas más altas, los compresores deben trabajar más para comprimir el aire caliente, disminuyendo su eficiencia. Por ello, es recomendable tomar el aire del exterior e instalar un ducto para esta función en caso

de ser necesario. Herrera et al (2010) establece que la reducción del trabajo fraccionado en el compresor debido a la reducción de la temperatura del aire de admisión se puede estimar como:

$$W_R = \frac{T_1 - T_0}{T_1 + 273} \quad (20)$$

Como regla general, "Cada aumento de 4 °C en la temperatura del aire de entrada da como resultado un mayor consumo de energía en un 1 % para lograr una salida equivalente" [1]. Por lo tanto, la entrada de aire frío conduce a una compresión más eficiente.

El ahorro de energía a través de la reducción de la temperatura del aire de admisión se puede expresar como:

$$ES_{A/T} = FL * H * W_R \quad (21)$$

Donde:

- ◆ FL = Potencia del compresor [kW].
- ◆ H = Horas de operación del compresor

Hay varias opciones de conducto de aire para mantener la temperatura mínima, que se presentan a continuación:

- Toma de aire desde el exterior y escape de aire hacía el exterior. Es necesario evaluar la condición de la temperatura en el exterior frente a la del interior, si la temperatura del exterior es menor en al menos 3 o 4°C puede ser una alternativa razonable.

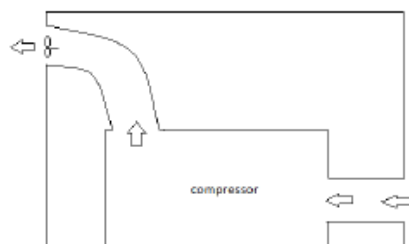


Figura 22. Toma de aire del exterior y escape al exterior.

Fuente: Elixir Renewable Energy

- Toma de aire desde el interior y escape de aire hacia el interior. En este tipo de configuración es necesario evaluar la instalación de sistema de ventilación para la sala de compresores que renueve el aire entregando así aire con menos contaminantes y a una menor temperatura.

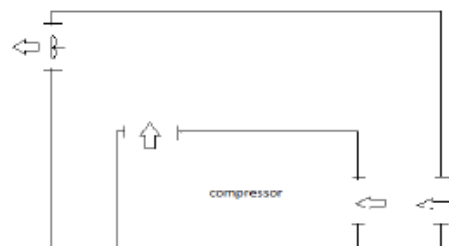


Figura 23. Toma de aire y escape al interior.

Fuente: Elixir Renewable Energy

- Toma de aire desde el interior y escape de aire hacia el exterior. El escape hacia el exterior surge como solución a la disminución de la temperatura de la sala de compresores.

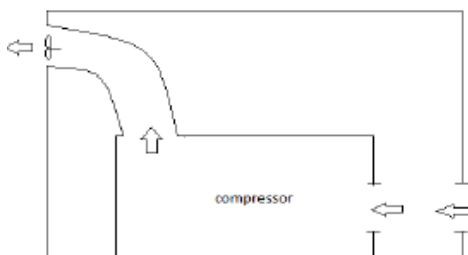


Figura 24. Toma de aire al interior y escape al exterior.

Fuente: Elixir Renewable Energy

✓ POTENCIALES USOS INEFICIENTES DEL AIRE COMPRIMIDO.

El aire comprimido es probablemente la forma de energía más costosa disponible en una planta. El aire comprimido también es limpio, fácilmente disponible y fácil de usar. Como resultado, el aire comprimido se elige a menudo para aplicaciones en las que otras fuentes de energía son más económicas. Los usuarios siempre deben considerar formas de energía más rentables antes de considerar el aire comprimido. Muchas operaciones se pueden realizar de forma más económica utilizando fuentes de energía alternativas. Los usos inapropiados del aire comprimido incluyen cualquier aplicación que se pueda realizar de manera más efectiva o eficiente con un método que no sea el aire comprimido. Ejemplos de usos potencialmente inapropiados del aire comprimido (EERE, 2015) incluyen:

- Soplado abierto. El soplado abierto es el uso de aire comprimido aplicado con un tubo, manguera o tubería abierta y no regulada para una de estas aplicaciones:
 - Refrigeración.
 - Secado.
 - Limpiar.
 - Drenaje de líneas de aire comprimido.
 - Eliminación de atascos en transportadores.

Las alternativas al soplado abierto son amplias. Algunos son:

- Cepillos
- Escobas
- Sistemas de recolección de polvo

- Purgadores automáticos sin pérdida de aire
 - Sopladores
 - Sopladores con cuchillas
 - Ventiladores eléctricos
 - Bombas eléctricas para barriles
 - Mezcladores
 - Boquillas.
- Rociado. El rociado es airear, agitar, oxigenar o filtrar líquido con aire comprimido. Esta es una aplicación particularmente inapropiada porque el líquido puede convertirse en un gas seco, lo que aumenta el punto de rocío. Cuanto más bajo sea el punto de rocío del aire comprimido, más severo será el efecto de absorción. Esto puede ocurrir con aceite, cáusticos, materiales de enjuague con agua, etc. Las alternativas al rociado incluyen sopladores y mezcladores de baja presión.
- Aspiración. La aspiración consiste en utilizar aire comprimido para inducir el flujo de otro gas con aire comprimido, como los gases de combustión. Una alternativa es un soplador de baja presión.
- Atomización. La atomización es el uso de aire comprimido para dispersar o suministrar un líquido a un proceso en forma de aerosol. Un ejemplo es atomizar combustible en una caldera. La presión fluctuante puede afectar la eficiencia de la combustión. Una alternativa es un soplador de baja presión.
- Relleno. El relleno utiliza aire comprimido para transportar líquidos y sólidos ligeros. Se dispensa aire sobre el material a mover. La expansión del aire mueve el material. El material generalmente solo se mueve distancias cortas. Un ejemplo

es la descarga de tanques o vagones cisterna. La difusión molecular y la absorción son problemas típicos del acolchado. Una alternativa son los sopladores de baja a media presión.

- Transporte en fase diluida. El transporte en fase diluida se utiliza en el transporte de sólidos, como material en polvo, en formato diluido con aire comprimido. La difusión molecular y la absorción son problemas típicos del transporte en fase diluida. Una alternativa es un soplador de baja o alta presión o un compresor de aire de baja presión. La presión requerida depende del contenido de humedad y el tamaño del material que se transporta.
- Generación de vacío. El término generación de vacío describe aplicaciones en las que se utiliza aire comprimido junto con un Venturi, reductor o eyector para generar un flujo másico de presión negativa. Las aplicaciones típicas son las aspiradoras de aire comprimido montadas en tambores. Esta es, con mucho, la aplicación más ineficiente de la industria con menos del 4 por ciento de eficiencia total, aunque para un uso muy intermitente (menos del 30 por ciento del factor de carga), el aire comprimido puede ser una solución razonablemente eficiente. Una alternativa es una bomba de vacío. Si se requiere un vacío generado por aire comprimido, instale una válvula solenoide en la línea de suministro de aire comprimido para cerrar esta aplicación cuando no se necesite. Los generadores de vacío se utilizan en toda la industria. Algunas aplicaciones para generadores de vacío incluyen:
 - Aspiradoras de taller.
 - Bombas de tambor.

- Paletizadora.
 - Despaletizadora.
 - Fabricantes de cajas..
 - Equipos de empaque.
 - Equipos de troquelado automático.
- Refrigeración del personal. El enfriamiento del personal es cuando los operadores dirigen aire comprimido hacia ellos mismos para ventilación. Esto es peligroso porque puede disparar partículas a la piel. Un tubo de 1/4 de pulgada que sopla aire sobre un operador puede consumir de 15 a 25 Caballos de Fuerza de Frenado (BHP) de aire comprimido. Una alternativa son los ventiladores de potencia fraccional de 1/4 BHP o menos.
- Cerbatanas o lanzas manuales abiertas.
- Bombas de diafragma.
- Refrigeración del gabinete.
- Venturi de vacío.

Por otro lado los usos apropiados del aire comprimido por sectores industriales son los que aparecen a continuación:

- Vestimenta. Transporte neumático, instrumento de alimentación, controladores, actuadores, equipos automáticos.
- Automotriz. Herramienta de alimentación, estampado, controladores, actuadores, transporte neumático, herramientas de estampe.
- Químicos. Transporte neumático, controladores y actuadores.

- Alimentos. Deshidratación, embotellado, controladores, actuadores, rociadores, limpieza y embalaje al vacío.
- Muebles. Alimentación de pistones, alimentación de herramientas y pistolas de spray.
- Manufactura. Estampado, clamping y herramientas de limpieza.
- Madera. Aserradora, elevación, clamping y tratamientos de presión.
- Metales. Estación de ensamblaje, alimentación de herramientas, moldeo por inyección y pistolas de spray.
- Petróleo. Proceso de compresión de gases.
- Fundición. Fundición al vacío y elevadores.
- Caucho y polímeros. Formado, alimentación en los moldes presión y moldeo por inyección.
- Minería.
- Generación de energía.
- Tratamiento de aguas servidas.
- ✓ **MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO.**

Hay pocos sistemas industriales en los que el mantenimiento pueda tener un efecto tan profundo en el consumo de energía como en el caso del aire comprimido. Hay muchas áreas de ineficiencia potencial, y las deficiencias de mantenimiento pueden manifestarse como un mayor consumo de energía de tres maneras:

- Disminución de la eficiencia de compresión
- Fuga de aire comprimido

➤ Caída de presión excesiva

Los efectos de un mantenimiento inadecuado también pueden afectar indirectamente la eficiencia total:

- Inadecuado control de la temperatura.
- Inadecuado control de la humedad.
- Contaminación excesiva del aire.

Al igual que todos los equipos electromecánicos, los sistemas industriales de aire comprimido requieren un mantenimiento periódico para operar con la máxima eficiencia y minimizar el tiempo de inactividad no programado. Un mantenimiento inadecuado puede tener un impacto significativo en el consumo de energía a través de una menor eficiencia de compresión, fugas de aire o variabilidad de la presión. También puede conducir a altas temperaturas de funcionamiento, control deficiente de la humedad y contaminación excesiva. La mayoría de los problemas son menores y se pueden corregir con simples ajustes, limpieza, reemplazo de piezas o la eliminación de condiciones adversas. El mantenimiento del sistema de aire comprimido es similar al que se realiza en los automóviles; se reemplazan los filtros y fluidos, se inspecciona el agua de enfriamiento, se ajustan las correas y se identifican y reparan las fugas.

Todo el equipo en el sistema de aire comprimido debe mantenerse de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Los fabricantes proporcionan programas de inspección, mantenimiento y servicio que deben seguirse estrictamente. En muchos casos, tiene sentido, desde el punto de vista de la eficiencia y la economía, mantener los

equipos con más frecuencia que los intervalos recomendados por los fabricantes, que están diseñados principalmente para proteger los equipos.

Una forma de saber si un sistema está bien mantenido y funciona correctamente es hacer una revisión periódica del sistema mediante el seguimiento de la potencia, la presión, el flujo y la temperatura. Si aumenta el uso de energía a una presión y caudal dados, la eficiencia del sistema se está degradando. Esta línea base también indicará si el compresor está funcionando a plena capacidad y si la capacidad está disminuyendo con el tiempo. En los sistemas nuevos, las especificaciones deben registrarse cuando el sistema se instala por primera vez y funciona correctamente.

El mantenimiento adecuado es esencial para la eficiencia y confiabilidad del sistema de aire comprimido. La clave del éxito requiere que los operadores de compresores determinen los requisitos para cada equipo, los recursos necesarios y programen el mantenimiento según los manuales del fabricante y el análisis de tendencias de los datos registrados. Todas las observaciones y lecturas de medidores deben registrarse para compresores, secadores, filtros y cualquier componente en la planta de compresores. Se requiere la combinación de datos del panel de control del equipo, inspecciones frecuentes y hojas de registro para evitar paradas no programadas del sistema y para utilizar los principios de mantenimiento preventivo y predictivo. Registre las fechas de todo el mantenimiento y las reparaciones, incluida una lista de todas las piezas que se reemplazaron o repararon.

Las áreas principales del sistema del compresor que necesitan mantenimiento son el compresor y todas sus unidades, las superficies del intercambiador de calor, el

separador de aire y lubricante, el lubricante, el filtro de lubricante y el filtro de entrada de aire. Las superficies del compresor y del intercooler deben mantenerse limpias y libres de suciedad. Si están sucios, la eficiencia del compresor se verá afectada negativamente. También se deben inspeccionar los ventiladores y las bombas de agua para garantizar que funcionen al máximo rendimiento.

El mantenimiento del compresor tiene un impacto severo en la eficiencia energética del sistema. Las fallas importantes de mantenimiento de los compresores son:

- Desgaste de partes mecánicas.
- Ensuciamiento de las superficies de refrigeración.
- Filtros de aire sucios.
- Lubricantes inadecuados o sucios.

Las piezas de los compresores alternativos sujetas a desgaste son los anillos de pistón, las válvulas y las paredes del cilindro. Una de las virtudes de los compresores de tornillo rotativo lubricados, y posiblemente la principal razón por la que se han vuelto populares, es que la naturaleza de su construcción reduce significativamente el potencial de desgaste de las piezas metálicas. Simplemente no hay tantas piezas de metal uniéndose, y las que lo hacen están completamente lubricadas. Sin embargo, todos los compresores deben evaluarse periódicamente para determinar que puedan comprimir a plena capacidad y que no haya un aumento en la relación entre la potencia y la salida.

Otra área de vulnerabilidad surge de los efectos termodinámicos del ensuciamiento de las superficies de enfriamiento del compresor y del intercooler. Cuando esto ocurre, el aumento de la temperatura en el proceso de compresión tiene el efecto

de reducir la salida en scfm, pero no la entrada total de energía. Esta energía adicional por unidad de salida se muestra como una temperatura más alta del aire descargado del sistema. Esta temperatura normalmente es reducida por el posenfriador, el secador y el sistema de distribución. El resultado final es menos potencia de aire comprimido para satisfacer la demanda de fábrica. Por lo tanto, es importante que todas las superficies de enfriamiento y los equipos de manejo de medios de enfriamiento, como ventiladores, bombas de agua, etc., se mantengan al máximo rendimiento.

Un filtro de aire de entrada sucio puede causar una pérdida de eficiencia. Si un filtro de entrada se deja en servicio hasta que la caída de presión aumente un 1% de la presión atmosférica, entonces la capacidad del compresor se habrá reducido en un 1%.

Debido a los efectos destructivos de las partículas de suciedad en los compresores, especialmente en los de tipo rotativo, es crucial que la filtración se mantenga efectiva y todas las tuberías de entrada se mantengan limpias. Por lo tanto, el proceso de filtración no se puede abandonar ni facilitar. El usuario debe seleccionar e instalar buenos filtros y mantenerlos regularmente, dependiendo el intervalo de mantenimiento de la naturaleza del entorno del que se extrae el aire de succión.

Los compresores lubricados dependen del aceite tanto para la reducción de la fricción como para el sellado. Es obvio, entonces, que permitir que el aceite se contamine o se vuelva corrosivo es muy destructivo tanto para la eficiencia como para el equipo valioso. La calidad del aceite es especialmente importante para muchos compresores rotativos de desplazamiento positivo porque todo el proceso de compresión está bañado

en aceite y enfriado por aceite. Para llevar a cabo un mantenimiento adecuado y diligente de los compresores, no hay sustituto para la inspección y las pruebas periódicas.

En el caso de los compresores rotativos con inyección de lubricante, la lubricación se proporciona a los cojinetes, los engranajes y las superficies del rotor engranadas. El lubricante también actúa como sello y elimina la mayor parte del calor de la compresión. Solo se debe usar un lubricante que cumpla con las especificaciones del fabricante.

Es más probable que la falta de mantenimiento adecuado de un motor eléctrico resulte en una falla final que en un mero aumento en el consumo de energía, pero no hay duda de que un rodamiento defectuoso contribuye a la fricción adicional, y el enfriamiento obstruido del motor aumentará la temperatura del motor, la resistencia del devanado, y por lo tanto, pérdidas eléctricas. Además, el mantenimiento inadecuado de los controles del motor puede reducir el voltaje del motor, provocando una reducción de la eficiencia.

Otra área que merece atención es la de las transmisiones por correas trapecoidales. Las correas que estén demasiado flojas resbalarán y las que estén demasiado apretadas cargarán excesivamente los rodamientos. El desgaste y estiramiento de las correas en uso normal requiere que sean inspeccionadas y ajustadas periódicamente. Las instalaciones de compresores accionados por correa deben ser monitoreadas regularmente para comprobar la tensión adecuada de la correa. Deben revisarse a intervalos que no superen las 500 horas de funcionamiento. Las correas gastadas o deshilachadas deben, por supuesto, ser reemplazadas.

Cuando el aire sale del compresor, puede entrar en uno o varios equipos de aire acondicionado comprimido. Cada uno de estos es un área potencial de falla de mantenimiento. Los filtros de aire comprimido son uno de los que presentan una caída de presión más alta en el sistema, incluso cuando están limpios. Cuando se han ensuciado, el potencial de pérdida es obvio. Una caída adicional de 1 psi en un sistema de 100 psi representa una pérdida del 1% en la disponibilidad de energía para el usuario del aire. Los filtros deben mantenerse limpios.

Lo mismo puede decirse de los posenfriadores, secadores, separadores y cualquier otro equipo en serie con el flujo de aire. Se debe mantener un sistema que esté equipado para entregar aire libre de humedad, o aire completamente seco, para asegurar que se produzca el producto deseado. De esta forma se reducirá la corrosión y la incrustación de las tuberías, así como la caída de presión incidente.

Las trampas de humedad están ubicadas en muchos puntos en todo el sistema. Normalmente se encuentran en filtros, enfriadores y equipos de secado y en puntos bajos en todo el sistema de distribución. Dado que estas trampas son dispositivos mecánicos con partes móviles, pueden fallar abiertas o cerradas. Si fallan en la posición abierta, son una fuga muy costosa. Si fallan en una posición cerrada, el resultado es una acumulación de líquido en el sistema, con varias posibilidades de rendimiento reducido.

En muchos sistemas de aire, las trampas se descuidan mucho. A veces se pasan por alto o se reemplazan con válvulas que se dejan en una posición parcialmente abierta. Esto no solo es un desperdicio de aire, sino que estas válvulas pueden obstruirse y causar arrastre de líquido en el aire comprimido. Las trampas correctamente instaladas,

con filtros protectores, deberían funcionar bien durante muchos años; sin embargo, requieren inspección y servicio periódicos.

El filtro, regulador y lubricador se utilizan para limpiar el aire en el punto de uso, para regular la presión y por ende la potencia o empuje de la herramienta u otro equipo neumático, y finalmente, para lubricar ese equipo, en ese orden. Si la herramienta u otro equipo neumático no están protegidos (por un filtro) de contaminantes graves, o si el equipo no está correctamente lubricado, puede desgastarse más rápidamente y, por lo tanto, puede reducir la eficiencia y gastar más aire para realizar el mismo trabajo.

Un filtro obstruido tendrá el efecto de una caída de presión adicional y una pérdida de energía resultante. Solo la inspección y la atención regulares pueden mantener estos artículos en el orden correcto.

Las pruebas de los fabricantes han indicado que la lubricación adecuada de las herramientas neumáticas reduce el consumo de aire para las herramientas controladas (hasta un 50 % en comparación con las herramientas secas) y aumenta la velocidad de las herramientas no controladas.

Los efectos acumulativos de fugas, caídas de presión y bajo rendimiento del compresor pueden combinarse para producir efectos completamente desconcertantes.

Cuando hay demasiadas fugas, el flujo de aire necesario para operar la fábrica aumenta con el flujo de aire necesario para acomodar las fugas. Esto puede causar una mayor caída de presión en los cabezales, reduciendo la presión y, por lo tanto, el contenido de energía de cada pie cúbico de aire. Esto, a su vez, aumenta la cantidad que la fábrica necesita para hacer su trabajo, lo que, a su vez, aumenta aún más la

cantidad de aire extraído de los cabezales, lo expande y reduce aún más su contenido de energía. Algunas fábricas han experimentado presiones en la estación de trabajo de solo el 40 % de las presiones ascendentes. Ha habido casos en los que la adición de compresores simplemente no pudo aumentar la presión de la estación de trabajo porque el sistema se había "auto bloqueado". La solución es cerrar todo el uso de aire el tiempo suficiente para restaurar la presión (y el contenido de energía del aire) nuevamente, y luego corregir las deficiencias del sistema lo más rápido posible (EERE, 2015).

Es importante en la gestión de los sistemas de aire comprimido darse cuenta de que el aire comprimido es un medio expandible y cuando, debido a una caída de presión excesiva y/o una fuga excesiva, se ve obligado a distribuirse a su uso final a una presión demasiado baja, entonces su contenido energético se reduce enormemente. El efecto inevitable es una combinación de productividad de fábrica reducida y mayor uso de aire.

La economía de esto indica que es casi imposible exagerar la necesidad de un buen mantenimiento.

2.6 REDACCIÓN DEL INFORME FINAL

El informe final es un documento que recoge toda la labor realizada durante la auditoría energética, este debe contener:

1. Descripción, objetivos y recopilación de la información:
 - ✓ Objetivos.
 - ✓ Instalaciones, equipos, procesos, productos o servicios y zonas incluidas.

2. Metodología empleada:
 - ✓ Mediciones en la recogida de datos.
 - ✓ Contabilidad energética.
3. Propuestas de mejora:
 - ✓ Potencial de ahorro energético.
 - ✓ Ahorro monetario.
 - ✓ Acciones de mejora.
 - ✓ Análisis ambiental.
4. Conclusiones y recomendaciones.

2.7 GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

A continuación se muestra un resumen para la aplicación de la metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética, con el objetivo de implementar una hoja de cálculo que facilite la entrada y obtención de resultados para los diferentes procesos que incluye la metodología. Para dicha hoja de cálculo habrá que ingresar los datos que se mencionen y los demás serán obtenidos de manera automática a través las operaciones en las celdas.

Para la ejecución de la metodología y la elaboración de la hoja de cálculo es necesario que esta cuente con cada una de las ecuaciones descritas anteriormente, a continuación se muestra un resumen de estas:

- Factor de utilización:

$$FU = \frac{\textit{Tiempo en minutos}}{60 \textit{ minutos}} \times 100\%$$

- Factor de servicio:

$$FS = \frac{\text{Cantidad de operarios}}{\text{Cantidad de maquinas neumáticas}} \times 100\%$$

- Consumo de aire comprimido:

$$\text{Consumo de aire comprimido} = FU \times FS \times FP \times \text{Consumo del dispositivo}$$

Donde el consumo debe ir en unidades de caudal requeridas, normalmente cfm.

- Porcentaje de fugas por el método on-off:

$$L_f = \frac{T}{T + t} \times 100\%$$

Donde T y t deben ir en unidades de tiempos iguales, normalmente minutos.

- Caudal de aire comprimido perdido:

$$q_f = q_r \times L_f$$

- Caudal de aire comprimido perdido por el método de manómetro a la salida:

$$q_f = 1.25 \frac{V(P_1 - P_2)}{t \times P_{atm}}$$

Donde V debe ir en m³, las presiones en bares y el tiempo en minutos.

- Porcentaje de fugas por el método de manómetro a la salida:

$$L_f = \frac{q_f}{q_r} \times 100\%$$

- Presión de seteo:

$$P_{set} = P_{min-req} + \Delta P_{long \text{ y accesorios}} + \Delta P_{filtros} + \Delta P_{secadores}$$

- Caída de presión primarias y secundarias:

$$\Delta P_{long \text{ y } accesorios} = \frac{1.782 \times 10^{-11} Q^2}{\pi^2 D^4} \left[\frac{fL}{D} + \Sigma k \right] \rho$$

Donde el caudal debe ir en cfm, la longitud y el diámetro en metros.

- Factor de fricción:

$$f = \frac{1}{\left(-1.8 \log \left(\left(\frac{\epsilon}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right) \right)^2}$$

- Número de Reynolds:

$$Re = \frac{1.8878 \times 10^{-3} Q}{\pi D \nu}$$

Donde Q debe ir en cfm, el diámetro en metros y la viscosidad cinemática en m²/s.

- Densidad de aire:

$$\rho = \frac{P_{abs-sistema}}{RT}$$

- Potencia eléctrica:

$$P = \frac{\sqrt{3} IV \cos \theta}{1000}$$

Donde la corriente debe ir en A y el voltaje en V.

- Consumo de energía eléctrica:

$$E_m = P \Delta T$$

El intervalo de tiempo normalmente es en horas.

- Consumo de energía eléctrica diario:

$$C_{diario} = \frac{E_{ac}}{d}$$

Donde el E_{ac} debe ir en kWh.

- Índice de aire comprimido:

$$IAC = \frac{35.32P_m}{q_{fad}}$$

Donde P_m debe ir en kW y q_{fad} en cfm.

- Ahorro de energía aplicada la reducción y reparación de fugas:

$$E_{SF} = L_f * FL * H * CCAF * FU$$

Donde EL debe ir en kW.

- Ahorro de energía aplicada la reducción de la presión de seteo:

$$E_{RP} = A * FL * FC * H$$

- Factor de carga:

$$FC = \frac{\text{Kwh consumidos por el compresor}}{\text{Kwh totaltes}}$$

- Reducción del trabajo fraccionado por temperatura:

$$W_R = \frac{T_1 - T_0}{T_1 + 273}$$

Donde las temperaturas deben ir en grados Celsius.

- Ahorro de energía aplicada la reducción de la temperatura de admisión:

$$ES_{A/T} = FL * H * W_R$$

Las primeras dos etapas que contempla la metodología pueden resumirse a través del siguiente cuadro:

TABLA 2. DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA		
RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN		
Periodo de trabajo:		
Nombre de la empresa:		
Descripción de la empresa:		
Principales usos del aire comprimido dentro de la empresa		
Descripción de la instalación:		
Documentación a anexar (Seleccionar con un cheque si cuenta con ella)	Facturas y boletas de electricidad	
	Planos	
	Tiempos de funcionamiento de los equipos	
	Listado de materiales, equipos y puntos de consumo	
NOTA:	Desde la tabla 2 hasta la se encuentra como debe presentar la información de cada uno de los puntos anteriores	
ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN		
Descripción del proceso:		
Descripción de los productos:		

Además se pueden utilizar las siguientes tablas para recolectar la información que se menciona en el apartado de documentos a anexar:

TABLA 3. INFORMACIÓN COMPRESOR

Compresores	
Parámetro	Valor
Fabricante	
Modelo	
Tipo	
Año de fabricación	
Voltajes/Fases	
Corriente	
Potencia nominal	
Eficiencia	
Presión nominal	
Recuperación de calor	

TABLA 4. INFORMACIÓN SECADOR

Secadores	
Parámetro	Valor
Fabricante	
Tipo	
Año de fabricación	
Caudal	
Punto de rocío	
Presión máxima de trabajo	
Tem. Máxima de entrada	
Tem. Mínima de salida	
Caída de presión	

TABLA 5. INFORMACIÓN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Tanques de almacenamiento	
Parámetro	Valor
Año de fabricación	
Capacidad (L)	
Presión de salida del aire	
Diámetro	
Orientación	
Accesorios	

TABLA 6. INFORMACIÓN ENFRIADORES

Enfriadores	
Parámetro	Valor
Modelo	
Tipo	
Año de fabricación	
Caudal	
Presión máxima	
Tem. Máxima de entrada	
Tem. Mínima de salida	
Potencia consumida	
Caída de presión	

TABLA 7. TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO

TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS					
Maquina	Cantidad	Potencia (kW)	Mes de análisis		
			Horas		
			Punta	Resto	Valle
Total					

Para el caso de la tabla de los tiempos de funcionamiento debe ingresar en las primeras filas todos los compresores y luego las demás maquinarias.

La información recolectada deberá llevarse hasta el Excel llamado “Metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética en sistemas de aire comprimido” y en la hoja “Horas de operación” se deberán colocar una a una los datos de maquinaria, cantidad, potencia según datos de placa y las horas de uso correspondiente a cada maquinaria para todos los meses del año o el periodo de análisis, en caso de que el consumo de energía no se cobre a través de las franjas horarias solo utilice la primer columna (Punta) para especificar el tiempo de uso mensual.

Para la medición y recolección de datos es necesario analizar si se cuenta con los datos indispensables para la implementación de la metodología como lo son consumo de aire comprimido, porcentaje de fugas en el sistema, presión de seteo del compresor o compresores y, temperaturas en la sala de compresores y en el exterior. Si no cuenta con ellos es necesario aplicar algunos procedimientos que se definen anteriormente. Para el consumo de aire comprimido se cuenta con la tabla perteneciente a la hoja “Consumo de aire comprimido”. donde deberá rellenar los campos que se muestran en la tabla 8 para obtener de esta manera el consumo real de aire comprimido de manera automática en la celda marcada.

TABLA 8. DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO

ANÁLISIS DE LOS PUNTOS DE CONSUMO					
Punto de consumo	Cantidad de maquinas	Presión requerida	Consumo teórico	Utilización por hora (min)	Cantidad de operarios
TOTAL					

Para la estimación de las fugas se cuenta con dos metodologías las cuales se desarrollan a detalle en apartados anteriores. Para el primer método se deberá conseguir la información propuesta en la tabla 9 que deberá ingresarlos en la hoja “Datos generales” para posteriormente obtener los resultados en la hoja “Fugas de aire comprimido” donde se encuentra el porcentaje de fugas por el método On-Off obtenido de manera automática, además del caudal de aire perdido y caudal total del sistema en las celdas marcadas.

TABLA 9. ESTIMACIÓN DE FUGAS MÉTODO ON-OFF

FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO - MÉTODO ON-OFF	
Tiempo de compresor de encendido	
Tiempo de compresor apagado	
Potencia nominal del compresor	
Horas de operación al año	
CAFF	
Porcentaje de fugas esperado	

Para el otro método debe seguirse el procedimiento una vez obtenida la información a través de la prueba, tendrá que ingresarlos en los espacios correspondiente en la hoja “Datos generales” para obtener el porcentaje de fugas calculada en la hoja “Fugas de aire comprimido” de manera automática.

TABLA 10. ESTIMACIÓN DE FUGAS MÉTODO MANÓMETRO A LA SALIDA

FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO - MANÓMETRO A LA SALIDA	
Volumen del sistema	
Presión inicial	
Presión final	
Presión atmosférica	
Tiempo	
Potencia nominal del compresor	
Horas de operación al año	
CCAF	

En el caso de la presión actual de operación de los compresores se deberá leer la medida de presión que indica el manómetro a la salida del compresor o en su defecto leer la lectura que se encuentra en la pantalla del compresor. Para determinar la presión a la cual realmente se deben setear los compresores se utiliza el procedimiento descrito anteriormente, donde se deben recolectar los datos que se presentan en la tabla 11. Deberán introducirse en el Excel en la hoja “Datos generales” como corresponde y se

obtendrá el valor de la presión mínima de seteo en la hoja “Presión de descarga” de manera automática.

TABLA 11. DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN MÍNIMA DE SETEO

PRESIÓN MÍNIMA DE SETEO	
Presión mínima requerida	
Longitud del tramo crítico	
Diámetro del tramo crítico	
Suma K en los accesorios	
Densidad	
Caída de presión en filtros	
Caída de presión en secadores	
Viscosidad	
Rugosidad	
Presión actual	

Para determinar el tramo crítico de una red de aire comprimido se deben tomar en cuenta aquellos puntos de consumo que necesiten mayor presión, aquellos tramos que se encuentren más alejados de la sala de compresores, que cuenten con menor diámetro y los que tengan mayor cantidad de accesorios. Se debe aclarar que la densidad del aire se puede determinar a través de la fórmula propuesta u obtenerla de a través de los datos de presión y temperatura del aire.

Por último para evaluar las condiciones de temperatura de la sala de compresores y exteriores se deberá introducir las mediciones en la hoja “Datos generales” para su posterior utilización.

En el primer punto a tratar del apartado de contabilidad energética corresponde a medir el consumo de energía de los equipos encargados de la generación y distribución de aire comprimido. Dicho consumo se puede obtener directamente si la empresa monitorea estas variables en sus dispositivos pero en caso de no ser así habrá que

TABLA 22. TABLA RESUMEN - REDUCCIÓN TEMPERATURA

AHORROS TOTALES	
Mes	Ahorro (kWh)
Enero	
Febrero	
Marzo	
Abril	
Mayo	
Junio	
Julio	
Agosto	
Septiembre	
Octubre	
Noviembre	
Diciembre	
TOTAL	

TABLA 23. AHORRO MONETARIO - REDUCCIÓN TEMPERATURA

AHORRO MONETARIO	
Ahorro en punta	\$ -
Ahorro en resto	\$ -
Ahorro en valle	\$ -
Total	\$ -

Para las medidas de ahorro energético de potenciales usos ineficientes de aire comprimido y mantenimiento de sistemas de aire comprimido no se cuenta con procedimientos para determinar los ahorros que traen consigo la aplicación de estas mejoras, estas únicamente tienen un carácter cualitativo y se basa en la observación de las distintas operaciones, equipos y puntos de consumo del aire comprimido por lo que será necesario llevar a cabo inspecciones que determinen las condiciones en la planta, documentar a través de fotos o en el caso del mantenimiento guiarse con la siguiente tabla:

TABLA 24. GUÍA DE INSPECCIÓN

GUÍA DE MANTENIMIENTO	
Compresor	
Inspección	Condición
Limpieza superficial del compresor	
Estado del filtro de entrada de aire comprimido	
Nivel de aceite del compresor	
Estado del aceite del compresor	
Estado del filtro de aceite	
Estado de la transmisión del compresor	
Fugas en el sistema	
Limpieza del intercambiador de calor	
Temperaturas de operación adecuados	
Limpieza del motor eléctrico	
Limpieza de la sala de compresores	
Secadores y enfriadores	
Inspección	Condición
Estado del secador	
Limpieza superficial del secador	
Limpieza del filtro del secador	
Estado del enfriador	
Limpieza del filtro del enfriador por aire	
Fugas en el enfriador por agua	
Tanques de almacenamiento	
Inspección	Condición
Estado del tanque de almacenamiento	
Fugas en el tanque de almacenamiento	
Estado de la purga de agua	
Filtros y trampas	
Inspección	Condición
Estado de los filtros	
Limpieza superficial del filtro	
Estado de las trampas	
Trampa parcialmente abierta o cerrada	
Fugas en filtros	
Fugas en trampas	
Unidad de mantenimiento FRL	
Inspección	Condición
Cuenta con unidad FRL	
Estado de la unidad FRL	
Nivel de aceite de lubricador	
Fugas en la unidad FRL	

Para determinar que las medidas de eficiencia energéticas planteadas se obtienen resultados favorables es necesario analizar la contabilidad energética, que incluye el consumo, los ahorros energéticos, el ahorro monetario y el consumo diario, además de la línea base y el índice de aire comprimido. En el caso de la contabilidad energética debe acceder la hoja "Contabilidad energética" donde se ha generado de manera automática los resultados los cuales reflejan los aspectos mencionados como se muestra en la tabla 25.

En la misma hoja de igual manera se ha generado automáticamente los ahorros monetarios que se esperan obtener al aplicar las tres medidas de eficiencia energética, se debe tener en cuenta que además podría presentar el ahorro extra teniendo en cuenta la reducción de los potenciales usos ineficientes y con el mantenimiento adecuado del sistema, en la tabla 25 se muestran los ahorros.

Además se han generado la línea base donde se compara la situación actual frente a la situación esperada al aplicar las medidas de ahorro energético (Ver gráfica 4). También se presenta el índice de aire comprimido para cada una las situaciones en el mismo gráfico para determinar si se está produciendo aire comprimido en un rango eficiente (Ver gráfico 5).

TABLA 26. AHORRO MONETARIO APLICACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

AHORRO MONETARIO	
Costo actual	\$ -
Ahorro por reducción de fugas	\$ -
Ahorro por reducción de la presión	\$ -
Ahorro por reducción de la temperatura	\$ -
Costo post aplicación de medidas de E.E	\$ -

GRÁFICO 4. LÍNEA BASE

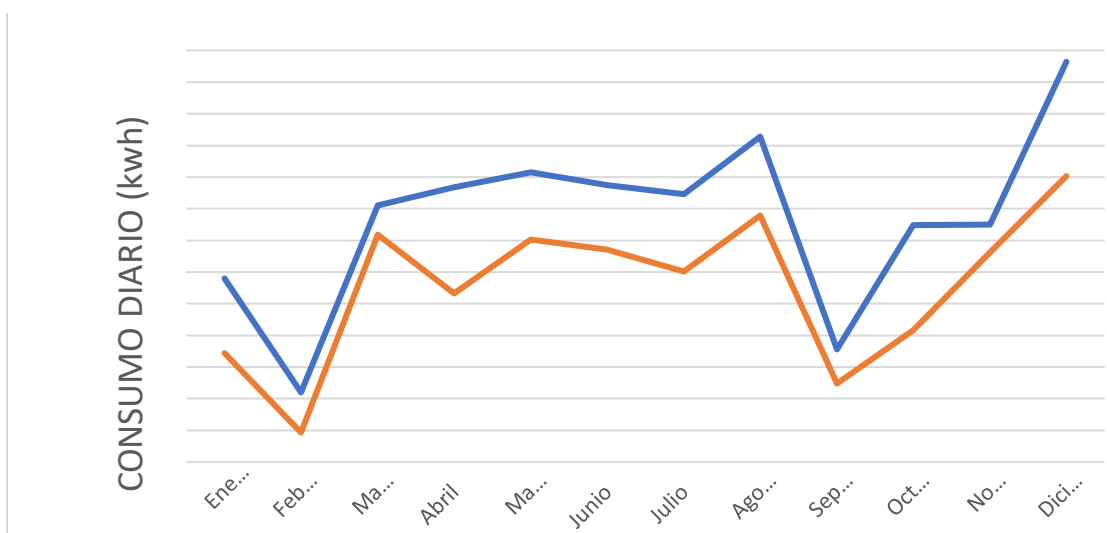
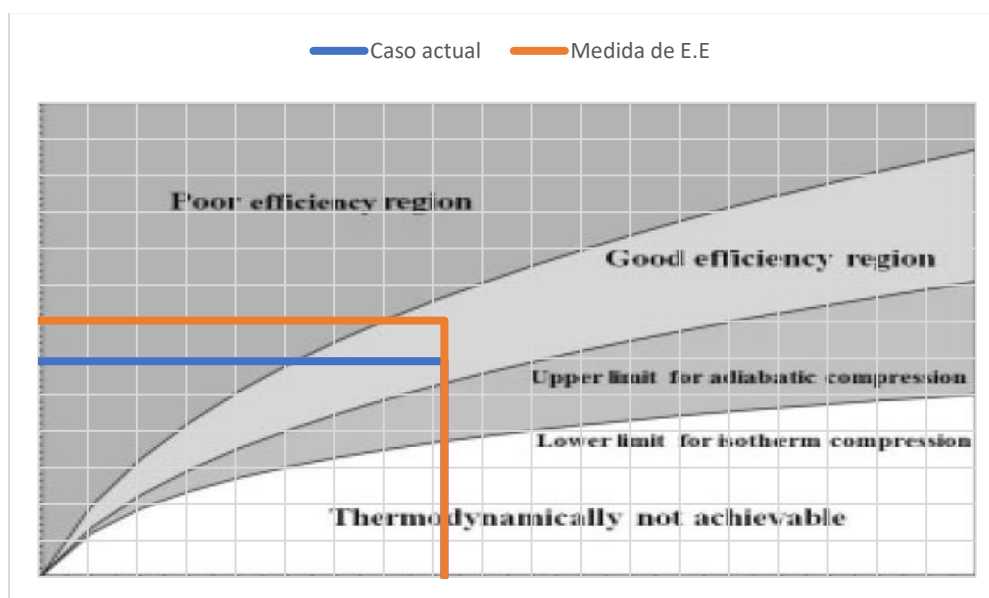


GRÁFICO 5. ÍNDICE DE AIRE COMPRIMIDO



Cuando se ha determinado que existen potenciales mejoras de ahorro energético a través del análisis de resultados obtenidos para cada una de las medidas planteadas es necesario llevar a cabo lo establecido en el quinto apartado de la metodología. Por ejemplo para las fugas habrá que determinar los lugares donde estas existan y eliminarlas, y así para cada una de las mejoras.

Por último habrá que seguir la estructura para presentar el informe final donde se incluya cada uno de los puntos analizados en esta guía de implementación.

3. FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

El respaldo que necesita toda empresa de cualquier tamaño para crecer es el financiamiento, ya que es un medio para lograr sus objetivos a corto y largo plazo.

Un tema de alto impacto para las empresas en un mundo globalizado y cada vez más competitivo, no sólo para continuar con su crecimiento y expansión, sino incluso para mantenerse en los mercados, es la posibilidad de obtener recursos financieros, que materialicen sus proyectos de inversión de mediano y largo plazo.

Para todas las empresas el financiamiento es una herramienta muy importante pues en muchos de los casos este suele ser el motor de la misma. Las mejores condiciones de acceso al financiamiento de las empresas se pueden traducir, entre otras cosas, en aumentos de productividad, en incrementos de la innovación tecnológica y en una mayor probabilidad de entrar y sobrevivir en los mercados internacionales (HSBC, 2019).

Antes de buscar un financiamiento, es necesario realizar una proyección real del proyecto a efectuar, esto para determinar en primer lugar el objetivo de la inversión y plantear distintos escenarios de pago para evitar deudas y darle el destino ideal al capital.

La eficiencia energética es un tema relevante en el ámbito mundial debido a la creciente dificultad para acceder a fuentes de energía disponibles inmediatamente, con mínimos impactos ambientales, y a un bajo costo, especialmente para aquellos que importan la mayoría de sus recursos energéticos.

Cada año en el mundo miles de proyectos de eficiencia energética permanecen sin ser implementados, especialmente en las economías en desarrollo y emergentes. Una barrera importante para la implementación de dichos proyectos es el financiamiento, debido a que los mecanismos de inversión en eficiencia energética aún no están completamente desarrollados en las economías locales.

El objetivo de los programas de financiamiento es solucionar este vacío. Los programas de financiamiento utilizan instrumentos como garantías de préstamo, garantías de cartera, préstamos, leasing y financiamiento de participaciones de capital (equity). En muchas circunstancias en el mercado, se ha demostrado que estos instrumentos son adecuados para características particulares de inversión en eficiencia energética.

Los beneficios de programas de financiamiento buscan colaborar a la mitigación del cambio climático, aumento de la seguridad energética, reducción de gastos en energía para los participantes, creación de empleos, y reducción en el déficit comercial.

En muchas economías de la región de América Latina y el Caribe, los usuarios finales no cuentan con opciones, es decir, las instituciones financieras locales no ofrecen facilidades u opciones debido a la presencia de numerosas barreras. El objetivo de los programas de financiamiento consiste, precisamente, en eliminar estas barreras. Entre las barreras usualmente se encuentran las siguientes:

- Alto costo de todas las opciones de financiamiento.
- Falta de disponibilidad de préstamos comerciales o leasing para inversiones de eficiencia energética.

- Falta de profesionales locales capacitados para evaluar los riesgos del proyecto para estructurar el financiamiento.
- Desinterés de instituciones financieras locales en el negocio de eficiencia energética.
- Falta de entendimiento de los profesionales de la banca sobre las modalidades de financiamiento de programas de eficiencia energética.
- Percepción de alto riesgo por parte de las instituciones financieras locales.
- Fallas al establecer el valor de los ahorros en energía cuando se estructura el programa de eficiencia energética.
- Reducido tamaño del proyecto de eficiencia energética desde el punto de vista de las instituciones financieras.
- Bajo nivel de desarrollo de la industria de empresas prestadoras de servicios energéticos.

Para mitigar estas barreras se han implementado muchos diseños de programas de financiamiento. Con los programas de financiamiento se pretende además:

- Aumentar la capacidad y el entendimiento de los profesionales de la banca sobre el financiamiento de eficiencia energética.
- Disminuir la percepción de riesgo de los bancos comerciales locales y otras instituciones financieras.

- Generar interés de los bancos comerciales locales y otras instituciones financieras en el negocio de eficiencia energética.
- Aumentar el conocimiento acerca del valor de los ahorros de energía producto de los programas de eficiencia energética (BID, 2012).

En el Diálogo Climático de Petersberg en abril, la Directora Ejecutiva del FMI, Kristalina Georgieva, fue inequívoca sobre la necesidad de una recuperación verde, que describió como un puente hacia un futuro más resistente.

La Sra. Georgieva enfatizó que las decisiones tomadas ahora darán forma a nuestras economías, sociedades y al futuro de la humanidad dada la crisis climática.

Entre las tres herramientas que destacó para la recuperación están la promoción de las finanzas y los bonos verdes, que pueden ayudar a movilizar la financiación del sector privado para proyectos de infraestructura sostenible.

La infraestructura sostenible puede desempeñar un papel vital para reducir la amenaza de una recesión mundial y ayudar a garantizar una recuperación sostenible. Este camino puede ayudar a crear empleos de calidad, atraer inversiones y mejorar los servicios públicos, al tiempo que se abordan las crisis ambientales, sociales y climáticas que se superponen (BID, 2020).

3.1 FINANCIAMIENTO DE UN PROYECTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SALVADOR.

A la fecha de Abril de 2023 instituciones salvadoreñas brindan apoyo en la ejecución de proyectos verdes y proyectos enfocados en la eficiencia energética con el

fin de mantener la disponibilidad de los recursos para las próximas generaciones. El Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL) es una entidad gubernamental cuyo propósito es acompañar con recursos financieros en pro del desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa. Dicha entidad se encuentra comprometida con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, dentro de los cuales se encuentra el aumento de la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

En el desarrollo de un proyecto de eficiencia energética se necesita contemplar dos aspectos fundamentales, el primero de ellos el tema técnico el cual abarca el análisis de los consumos, indicadores, antecedentes, capacidades del personal y además el tema económico que está relacionado con el financiamiento para la ejecución del proyecto, que contempla a su vez el estudio técnico y la puesta en marcha de las acciones de mejora.

El éxito de todo proyecto está determinado desde la planeación por lo que es necesario definir los pasos a seguir para la correcta ejecución, a continuación se presenta el flujograma de la figura 25.

3.2 ANTEPROYECTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Cuando se inicia un proyecto con enfoque en la eficiencia energética, existe generalmente una razón importante, que es promover el uso eficiente de la energía para obtener un ahorro de esta que a su vez se traduzca en una disminución en la facturación de energía eléctrica.

Al tratarse de un tema que ha tomado fuerza en la época reciente, la descripción del proyecto es una pieza fundamental antes de iniciar, en este se busca dar una perspectiva general de la situación, caracterizar la idea principal de lo que se pretende realizar y establecer una visión general de cómo se ejecutara, además sirve como carta de presentación ante aquellas personas que toman las decisiones y no conocen el tema.

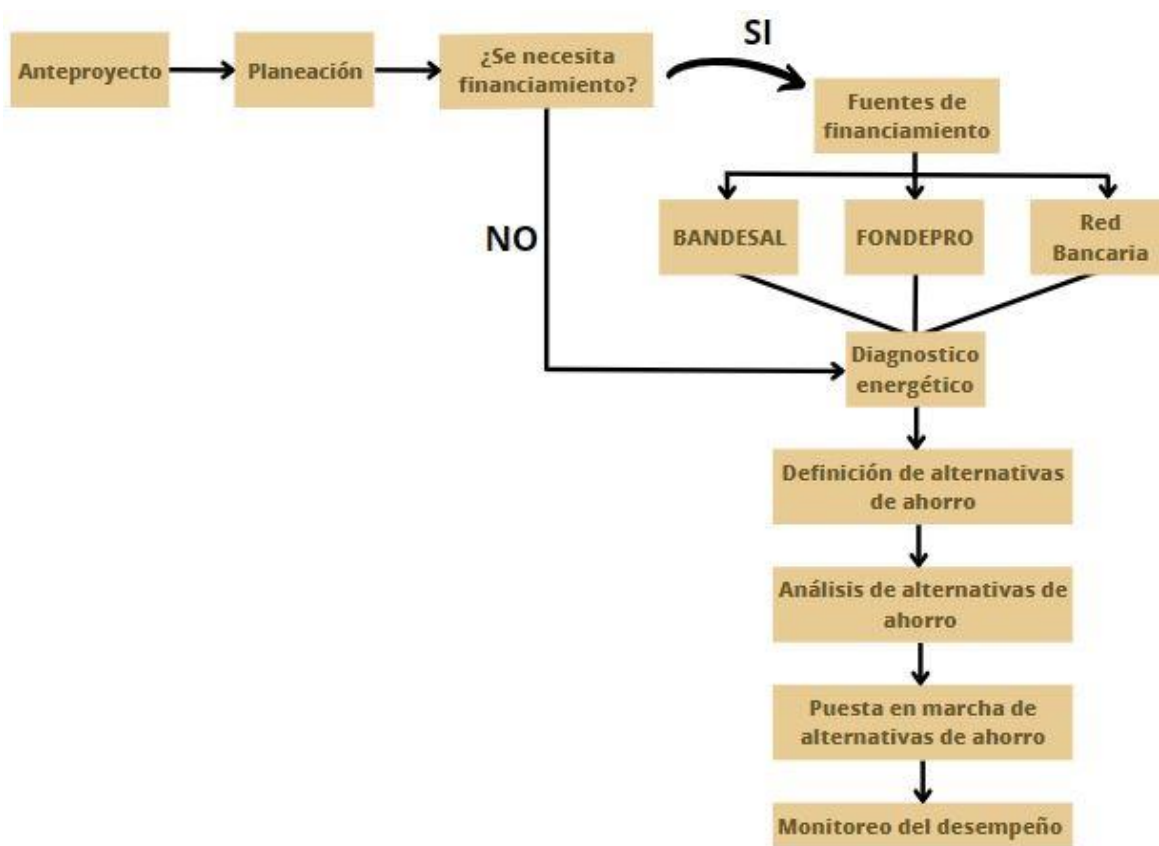


Figura 25. Pasos a seguir para la ejecución de un proyecto de eficiencia energética.

Fuente: Elaboración propia

En algunas ocasiones puede ser de utilidad una descripción breve de las instalaciones, además se pueden adjuntar planos de instalaciones eléctricas, neumáticas, disposición de equipos, etcétera, y puede ir acompañado de la dirección y ubicación geográfica en caso estas variables afecten directamente con la ejecución.

Desde el inicio es importante establecer los objetivos que se tendrán para desarrollar el proyecto, es decir, hay que establecer las metas de ahorro de energía.

A su vez un programa de eficiencia energética trae consigo algunos otros objetivos específicos como analizar la situación actual de la empresa frente a la situación en el pasado, inspecciones a instalaciones y establecer programas de mejora en las distintas áreas de productividad.

Dentro de algunas empresas será necesario, por parte del departamento de ingeniería, brindar una justificante que incluya datos reales y comparaciones donde se refleje que existe una necesidad real de ahorro de energía que traerá consigo un beneficio hacia la empresa. Las razones incluidas en la justificante deben ser fundamentadas y convincentes.

A partir de la concepción de la idea principal del proyecto y los objetivos que se han marcado para este, es muy importante definir algunas actividades que nos llevarán a alcanzar el logro del proyecto, por lo que, un listado de actividades generales acompañado de su respectivo cronograma es pieza fundamental para medir los avances del proyecto y establecer periodos para la ejecución de cada una de las actividades previstas. En algunos de los casos estos periodos no podrán ser cumplidos debido a modificaciones que puedan surgir debido a la intervención de terceros en el proyecto. Actividades más específicas serán detalladas al momento de poner en marcha el estudio técnico.

Una vez establecidas las actividades hay que tener claro que para la ejecución se necesita de fondos, ya sea propios o a través de fuentes de financiamiento e inclusive

puede ser una mezcla de ambas. Se deberá definir qué actividades se realizarán con fondos propios y para que actividades se buscará financiamiento, a partir de esto se podrá definir a que institución se solicitará apoyo considerando lo que conlleva cada una de las actividades, por ejemplo existen organizaciones que brindan apoyo en la ejecución completa del proyecto y otras que solo abarcan la asistencia técnica.

3.3 PLANEACIÓN DEL PROYECTO

Una vez obtenida la aprobación o tomada la decisión de realizar el proyecto, como primer paso habrá que evaluar y acudir a las instituciones que brindan apoyo en proyectos de eficiencia energética, enfocados en el desarrollo del estudio técnico.

Ante un estudio técnico habrá que tener claro que se tienen algunas opciones de trabajo, la primera de ella es realizarlo a través de personal calificado en el tema perteneciente a la empresa, la segunda es con el apoyo de una empresa consultora que puede ser perteneciente al Fondo de Asistencia Técnica de BANDESAL o por último se puede realizar un híbrido entre las dos primeras opciones. En el estudio técnico se definirán cada uno de los puntos de análisis para determinar su consumo de energía eléctrica, e inclusive considerará aquellas variables que afecten al proceso productivo, como por ejemplo consumo de lubricantes, aire comprimido, etcétera. Cabe aclarar que no habrá que evaluar cada uno de los puntos de consumo de la planta sino únicamente aquellas que se consideren críticos dentro del proceso. Para la correcta ejecución de este estudio se necesita la elaboración de un cronograma de actividades, donde ya se tendrán en cuenta cada uno de los puntos de estudio del diagnóstico energético.

Con un diagnóstico energético se puede determinar con exactitud el balance de energía de los principales equipos consumidores. A través de los diagnósticos, se identifican los puntos del proceso de mayor uso de energía, resaltando aquellos en donde se está perdiendo o usando ineficientemente y donde es posible generar un ahorro.

El diagnóstico energético debe ser realizado por un consultor o especialista en el tema de eficiencia energética.

La empresa puede contratar a un consultor individual o empresa consultora que asigne un especialista o equipo de especialistas en el tema de eficiencia energética. En este caso el empresario deberá pagar los honorarios, de acuerdo con la negociación pactada.

Los objetivos principales del diagnóstico energético son:

- Establecer metas de ahorro de energía.
- Diseñar y aplicar sistemas integrales para el ahorro de energía.
- Evaluar técnica y económicamente las medidas de ahorro de energía.
- Disminuir el consumo de energía, sin afectar negativamente los niveles y condiciones de producción.

Existen varios tipos de diagnóstico variando en tamaño, enfoque, precisión y costos dependiendo de las fuentes y necesidades del proceso en el cual se desarrolla el mismo, sin embargo, es conveniente dividir cualquier diagnóstico energético en dos niveles. Diagnóstico nivel uno o básico, se lleva a cabo mediante un examen visual del proceso industrial o instalación, para estimar los potenciales ahorros de energía. En este

nivel no se realizan mediciones y apenas se obtiene un conocimiento muy superficial de las instalaciones energéticas.

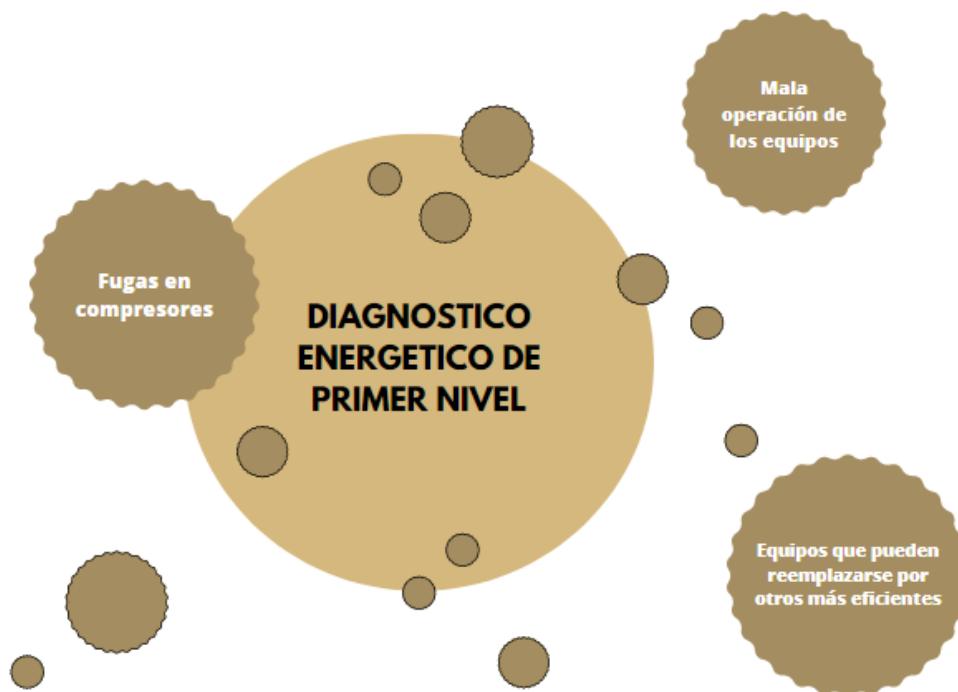


Figura 26. Diagnóstico energético de primer nivel. Fuente: Elaboración propia

El diagnóstico de nivel 2 (Ver figura 27) proporciona información sobre el consumo de energía por sistemas o procesos específicos de operación de acuerdo con la necesidad identificada. Este diagnóstico proporcionará información cuantitativa sobre los ahorros de energía que se pueden lograr y el monto de la inversión que será necesario realizar (CNE, 2012).

Antes de realizar un diagnóstico energético es muy importante haber definido los objetivos que se quieren alcanzar, es necesario delimitar el nivel de diagnóstico.



Figura 27. Diagnóstico energético de segundo nivel. Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente la empresa puede realizar el diagnóstico con su personal técnico; sin embargo, debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El técnico asignado de la empresa debe ser especializado en el tema de eficiencia energética y en la elaboración de diagnósticos para buscar oportunidades de ahorro energético y saber evaluarlas.
- Además, el técnico designado deberá dedicarse únicamente al proyecto mientras dure el diagnóstico, y debe contar con el equipo necesario para realizar las mediciones pertinentes.

O bien puede decidir acceder a los fondos no reembolsables para asistencia técnica mediante los mecanismos de apoyo de BANDESAL u otros medios de financiamiento disponibles en el mercado.

Las organizaciones dentro de sus programas suelen contemplar exclusivamente fondos de asistencia técnica, abreviado FAT, que es un apoyo financiero que tiene por finalidad cubrir los costos parciales o totales de consultorías y estudios de los empresarios sobre temas específicos en su empresa. Para el caso del tema de eficiencia energética el FAT tiene el objetivo de realizar diagnósticos energéticos para identificar medidas de ahorro que se vean reflejadas como ahorro en el consumo y el valor económico en la facturación eléctrica, también puede haber fondos para el seguimiento e implementación de las medidas implementadas.

3.4 BANDESAL – FONDO DE ASISTENCIA TÉCNICA

El Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL) cuenta con fondos de asistencia técnica para proyectos de eficiencia energéticas. BANDESAL a través de su Programa Empresa Renovable contempla en uno de sus componentes los fondos de asistencia técnica, que comprende de una línea para financiar a los interesados en realizar inversiones de eficiencia energética o energías renovables.

Los objetivos generales de la línea y el FAT, son:

- Contribuir a la reducción de la contaminación ambiental y un uso más eficiente de los recursos de las empresas salvadoreñas.

- Financiar a las micros, pequeñas, medianas y grandes empresas, en inversiones a largo plazo para favorecer su reconversión ambiental y eficiencia energética.
- Apoyo en asistencia técnica para cubrir los costos de consultorías y estudios de los empresarios que desean realizar inversiones para la reconversión ambiental, eficiencia energética y energías renovables. En el caso de la eficiencia energética brinda hasta un máximo de apoyo de asistencia técnica de \$4,000.00, con un aporte del empresario del 25% reembolsable, el reintegro del aporte se realiza con la aprobación del crédito.

Para este fondo de asistencia técnica, BANDESAL tiene una base de consultores que fueron capacitados y acreditados, en temas de producción más limpia, eficiencia energética y en factibilidad económica de los proyectos, por lo que el interesado puede seleccionar el consultor a través de las 5 ventanillas autorizadas por BANDESAL, las cuales son las encargadas de velar por la calidad técnica de las asistencias. Dichas ventanillas son:

TABLA 27. VENTANILLAS AUTORIZADAS POR BANDESAL.

Fuente: CNE, 2012

Nombre de la ventanilla	Sitio web	Teléfono
CENTROMYPE	www.centromype.org.sv	2275-80430
FIAGRO	www.fiagro.sv	2212-0900
CNPML	www.cnpml.org.sv	2264-3210
ASI	industriaelsalvador.com	2267-9227
Universidad de Don Bosco	www.udb.edu.sv	2251-8200

El proceso para aplicar al fondo de asistencia técnica de BANDESAL es:

1. Solicitar en una de las ventanillas disponibles a alguno de los consultores capacitados pertenecientes al FAT.
2. Llenado en línea de la ficha de solicitud de asistencia técnica, por parte del empresario.
3. Validación de la solicitud de asistencia técnica, a través de llamada telefónica del Coordinador del programa. Asignación de personal técnico para realizar la asistencia técnica
4. Programación de reunión presencial o virtual con la empresa
5. Empresario paga el 25% del anticipo de la asistencia técnica (reembolsable).
6. Firma de contrato tripartito entre consultor – empresario – ventanilla.
7. Realización de visita o reuniones virtuales para levantar información de la asistencia técnica
8. Solicitud y envío de información complementaria para la asistencia técnica, si fuese necesaria.
9. Elaboración de Informe de Asistencia Técnica
10. Revisión y aprobación del Informe
11. Comunicación al solicitante y envío del producto por vía electrónica
12. Proceso de reembolso.
13. Cierre de la solicitud.

Los documentos a presentar para elaborar el contrato tripartito son el NIT de la empresa, Número de Registro de IVA o Número de Referencia Completo (NRC) y, el DUI y NIT del representante legal.

Para el proceso de reembolso del 25% debe presentarse a la ventanilla el informe técnico para que estos evalúen la calidad técnica del informe y la aprobación de BANDESAL para tramitar el pago al consultor del 75% restante. A su vez el empresario recibe el reembolso del 25% que pagó por la asistencia técnica (CNE, 2012).

3.5 BANDESAL – LÍNEA DE CRÉDITO

BANDESAL ofrece financiamiento directo a proyectos de eficiencia energética y energías renovables para actividades productivas, con condiciones especiales cuando se trate de proyectos estratégicos y/o beneficiosos para el medio ambiente, de acuerdo con el siguiente detalle:

TABLA 28. FINANCIAMIENTO EN PROYECTOS POR BANDESAL.
Fuente: CNE, 2012.

DESTINOS	PLAZO MÁXIMO	PERIODO DE GRACIA MÁXIMO
Maquinaria, equipo, gastos de internación e instalación	15 años	3 años
Adquisición y desarrollo de construcciones, instalaciones, edificaciones e infraestructura física.	15 años	3 años
Capital de trabajo estructural para inicio o ampliación de actividades productivas	4 años	1 año

Con las condiciones generales siguientes:

- Sujetos de crédito: Personas naturales o jurídicas.
- Monto máximo de financiamiento: Hasta el 90% del monto del proyecto, cuando estos tengan un valor de \$100,000.00 y hasta un 80% del monto del proyecto cuando sea superior a \$100,000.00.

- Tasa de interés: Se definirá según el tipo del proyecto y el plazo del crédito.

Las empresas o personas interesadas en financiamiento, deberán presentar a BANDESAL una solicitud de crédito debidamente completada, el anteproyecto del proyecto que desean financiar, así como la información general de la empresa o persona natural, la cual se presenta como anexo.

Dependiendo del tipo de proyecto, de la persona o empresa solicitante, del monto solicitado, etcétera, así se va definiendo si es necesario presentar información complementaria, y también se definirán los criterios de evaluación. Principalmente el proyecto debe mostrar ser rentable y la persona o empresa debe mostrar su capacidad de pago de una deuda (CNE, 2012).

En la tabla 29 se tiene a detalle la información completa que puede solicitar el banco en caso de que ellos lo crean conveniente.

TABLA 29. DOCUMENTACIÓN SOLICITADA POR BANDESAL

Fuente: CNE, 2012.

LISTA DE DOCUMENTOS REQUERIDOS PARA TRAMITE DE CRÉDITO
Propuesta de crédito
Estados financieros de los últimos dos ejercicios fiscales, que comprenden: Balance general, estado de resultados y estado de flujo de efectivo, con el dictamen del auditor externo*
Flujo de caja proyectado (En función de plazo de crédito)
Información financiera del codeudor o fiadores solidarios, cuando corresponda
Lista de accionistas o sus equivalentes (Aplica para personas jurídicas)
Fotocopia de declaraciones de impuesto sobre la renta de los últimos 2 ejercicios fiscales*
Fotocopia de declaraciones de impuesto de IVA y/o pago a cuenta de últimos 3 meses*

PERSONAS NATURALES
Fotocopia de DUI y NIT del solicitante
Fotocopia de DUI y NIT de los codeudores, cuando corresponda
PERSONAS JURÍDICAS
Fotocopia de NIT de la sociedad y del registro fiscal
Fotocopia de DUI y NIT del representante legal o del apoderado
Fotocopia de escritura de constitución de la sociedad
Credencial vigente del representante legal
Copia DUI y NIT de principales accionistas
OTROS
Fotocopia de permisos necesarios del proyecto, si aplican
Fotocopia de cotizaciones
Fotocopia de escritura del inmueble

*Se exceptúan los usuarios que no estén obligados a llevar contabilidad formal, según lo establece la Ley

3.6 FONDO DE DESARROLLO PRODUCTIVO – LÍNEA DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

El Fondo de Desarrollo Productivo (FONDEPRO) es una iniciativa del Gobierno de El Salvador, ejecutada a través del Ministerio de Economía. Es un fondo financiero destinado a otorgar cofinanciamiento no reembolsable a la MIPYME, a fin de fortalecerla en su competitividad y generar impacto económico.

El objetivo del FONDEPRO es contribuir a mejorar la productividad y la competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas que operan en el país, mediante el mecanismo de cofinanciamiento no reembolsable para mejorar la calidad de sus productos y procesos, aumentar la creación de valor agregado, promover la innovación, impulsar los encadenamientos productivos, aumentar la producción nacional

y las exportaciones que conlleven a la generación de mayores y mejores empleos e incrementos en el nivel de ingreso de la población salvadoreña.

Dentro de esta línea se contempla la eficiencia energética. Esta consiste en la prestación de servicios de apoyo a las empresas para que puedan implementar proyectos que le permitan aumentar la eficiencia en el uso de la energía en sus procesos productivos en concordancia con las normas y requisitos medioambientales que rigen en el país y aquellos exigidos por los mercados internacionales de interés de las empresas.

Algunas de las actividades financiables en el tema de eficiencia energética son:

- Asesorías especializadas y asistencias técnicas en aspectos tales como diagnóstico y elaboración de planes de trabajo (planes de mejoramiento), diseño de readecuaciones de instalaciones, servicios de instalación de tecnologías más eficientes, honorarios de consultorías para dar seguimiento al desarrollo de proyectos de eficiencia energética.
- Capacitación del personal para el manejo óptimo de los equipos de mayor eficiencia.
- Inversiones en activos fijos que contribuyan directamente al logro de objetivos del proyecto, tales como:
 - Tecnologías alternativas para la generación de energía.
 - Equipos industriales más eficientes.
 - Disminución del consumo de energía.

El aporte financiero hecho por el fondo para que la MIPYME desarrolle su iniciativa o proyecto, el aporte restante lo hace el empresario. El cofinanciamiento es de 60% del valor de la iniciativa para empresas dentro del área metropolitana de San Salvador y 75% para las empresas ubicadas fuera del Área Metropolitana de San Salvador. Este fondo es no reembolsable, esto significa que los recursos financieros recibidos por parte del fondo no deben ser retornados monetariamente. A cambio la MIPYME debe generar impacto económico, el cual se mide a través de más empleos, más ventas, nuevos mercados y productos, entre otros.

El empresario inicialmente ejecuta la iniciativa aprobada con sus propios recursos; luego solicita al Fondo el reembolso hasta el porcentaje y monto de cofinanciamiento aprobado. Existen dos modalidades de cofinanciamiento fast track y proyectos (CNE, 2012). El proceso de aplicación es el siguiente:



Figura 28. Proceso de aplicación FONDEPRO. Fuente: CNE, 2012.

➤ FAST TRACK

Para actividades puntuales de rápida ejecución. Se refiere a que el empresario puede solicitar al fondo cofinanciamiento para realizar un máximo de dos actividades,

cuya ejecución no sobrepase los seis meses, y pueden ser de forma individual o asociativa. Con un monto de hasta \$15,000.00.

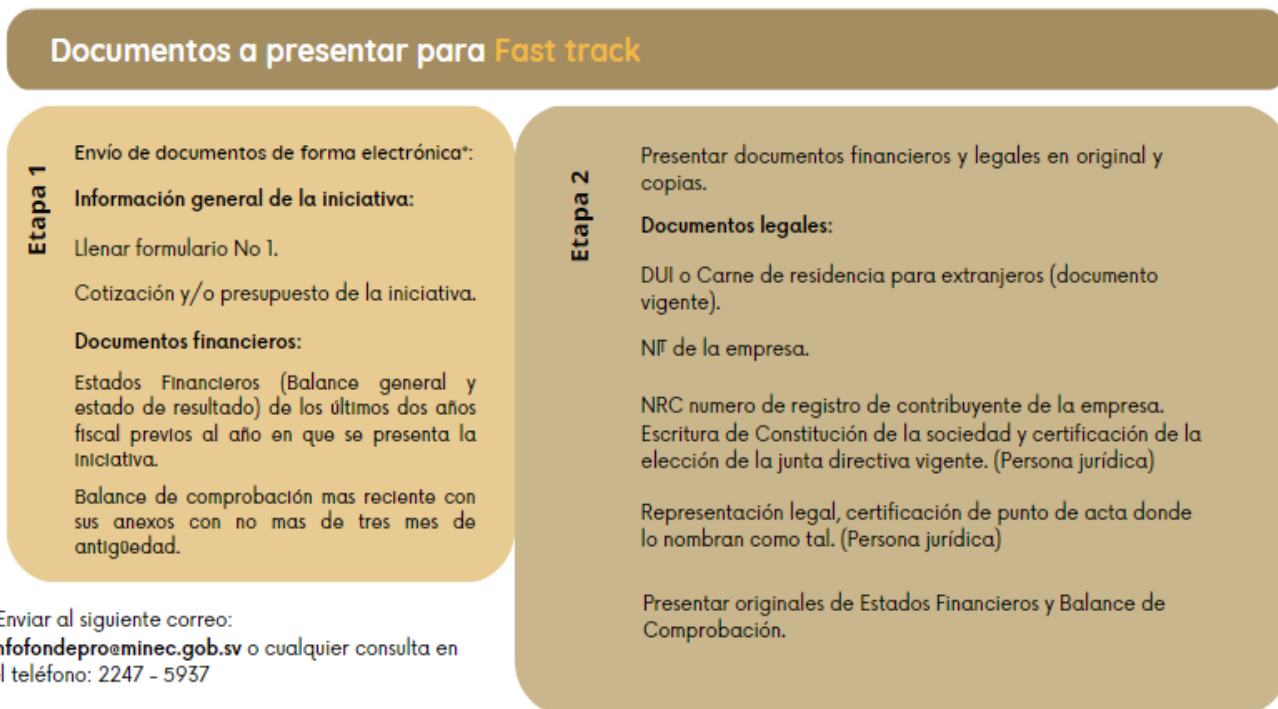


Figura 29. Documentos a presentar para Fast track. Fuente: CNE, 2012

➤ PROYECTO

Está integrado por más de dos actividades, resultado de un plan de negocios. Los proyectos pueden ser individuales y asociativos:

- a) Individual (Una empresa): Con un límite de cofinanciamiento hasta por \$100,000.00.
- b) Asociativo (Dos o más empresas): Con un límite de cofinanciamiento hasta por \$200,000.00.

Documentos a presentar para proyectos

Etapa 1

Envío de documentos de forma electrónica*:

Información general de la iniciativa:

Llenar formulario No 1.

Cotización y/o presupuesto de la iniciativa.

Documentos financieros:

Estados Financieros (Balance general y estado de resultado) de los últimos dos años fiscal previos al año en que se presenta la iniciativa.

Balance de comprobación más reciente con sus anexos con no más de tres meses de antigüedad.

*Enviar al siguiente correo:

Infondepro@minec.gob.sv o cualquier consulta en el teléfono: 2247 - 5937

Etapa 2

Presentar documentos financieros y legales en original y copias.

Documentos legales:

DUI o Carne de residencia para extranjeros (documento vigente).

NI de la empresa.

NRC numero de registro de contribuyente de la empresa.

NRC numero de registro de contribuyente de la empresa.

Matricula de comercio o comprobante de que este en trámite.

Representación legal, certificación de punto de acta donde lo nombran como tal.

Escritura de constitución de la sociedad y certificación de la elección de la junta directiva vigente. (Persona jurídica)

Presentar originales de Estados Financieros y Balance de Comprobación.

Figura 30. Documentos a presentar para proyectos. Fuente: CNE, 2012.

3.7 BANCO ATLÁNTIDA

Es un banco orientado al desarrollo, que ofrece servicios financieros integrales brindando un servicio de excelencia para empresas y personas particulares.

En sus operaciones con clientes empresariales se orientan principalmente a las micro, pequeñas y medianas empresas, porque están convencidos que éstas son quienes crean el mayor número de empleos y contribuyen significativamente a las economías que operan.

Las inversiones del Banco Atlántida en la eficiencia energética tienen el objetivo de reducir el consumo de energía y al mismo tiempo mejorar los niveles y la calidad de la producción. Estas inversiones son:

- Sistemas de aire acondicionado eficientes.
- Equipos y máquinas de producción como tornos, hornos, bombas, compresores, motores, calderas de vapor, etcétera.

Es importante indicar que las inversiones elegibles en el contexto de la eficiencia energética deberán permitir, como mínimo, un 20% de ahorro de electricidad.

Los requisitos mínimos para solicitar el crédito son:

1. Empresas con un año como periodo mínimo de actividad.
2. Estabilidad domiciliar.
3. Negocio auto sustentable.
4. Sin mora en otras instituciones bancarias.

Como documentación mínima necesaria se tiene:

1. Copia de DUI y NIT (deudor y codeudor).
2. Fotocopia del último recibo de los servicios de agua potable o electricidad de su residencia actual.

Los pasos para tramitar un crédito son:

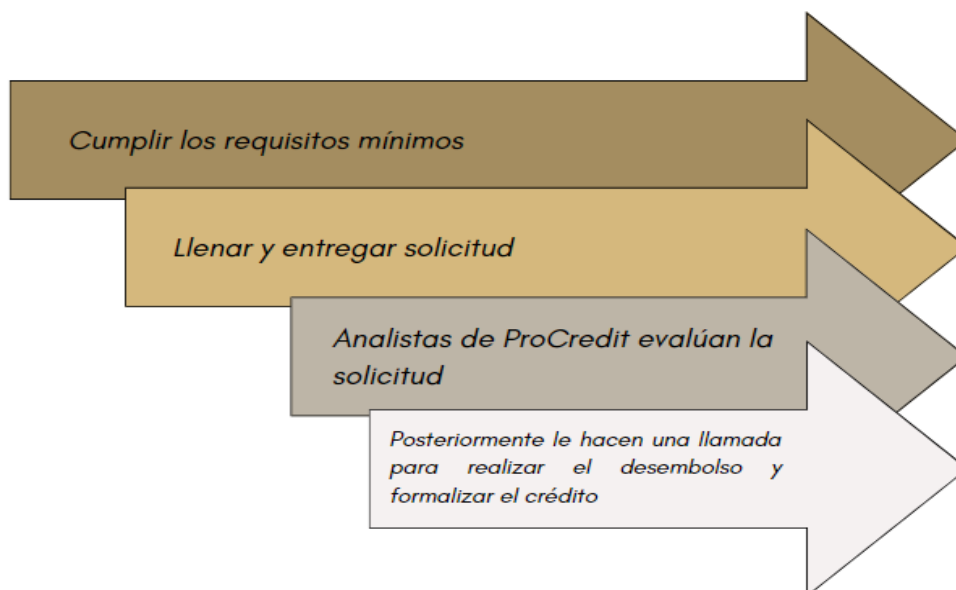
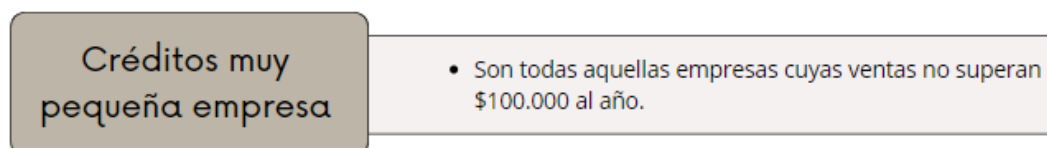


Figura 31. Pasos para tramitar un crédito. Fuente: CNE, 2012.

Estos créditos se dividen de la siguiente manera:



Créditos para muy pequeña empresa	
Monto	\$1000 - \$30,000
Destino	Plazo
Capital de trabajo	1 mes - 36 meses
Activo fijo	1 mes - 15 años
Compra de vivienda/terreno	Hasta 15 años plazo
Mejora de vivienda	1 mes - 60 meses
Agropecuario	1 mes - 18 meses vencimiento
Estacional	1 mes - 3 meses
Forma de pago	Semanal, bisemanal, quincenal, mensual, bimensual, trimestral, semestral, anual

Figura 32. Créditos para muy pequeña empresa. Fuente: CNE, 2012.

Créditos mediana empresa

- Las mediana empresas son las que superan el nivel de ventas de de \$500.000 al año.

Créditos para mediana empresa	
Monto	de \$1500 en adelante
Destino	Plazo
Capital de trabajo	1 mes - 36 meses
Maquinaria y equipo	1 mes - 8 años
Compra inmuebles	Hasta 15 años plazo
Mejora de vivienda	1 mes - 60 meses
Agropecuario	1 mes - 18 meses vencimiento
Estacional	1 mes - 3 meses
Forma de pago	Semanal, bisemanal, quincenal, mensual, bimensual, trimestral, semestral, anual

Figura 33. Créditos para media empresa. Fuente: CNE, 2012.

Créditos pequeña empresa

- Son todas aquellas empresas cuyas ventas oscilan desde \$100.000.00 hasta \$500.000.00 al año.

Créditos para pequeña empresa	
Monto	de \$30,00 en adelante
Destino	Plazo
Capital de trabajo	1 mes - 36 meses
Maquinaria y equipo	1 mes - 8 años
Compra inmuebles	Hasta 15 años plazo
Mejora de vivienda	1 mes - 60 meses
Agropecuario	1 mes - 18 meses vencimiento
Estacional	1 mes - 3 meses
Forma de pago	Semanal, bisemanal, quincenal, mensual, bimensual, trimestral, semestral, anual

Figura 34. Créditos para pequeña empresa. Fuente: CNE, 2012.

4. IMPACTO AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

El consumo de energía en el planeta ha crecido exponencialmente, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. En la actualidad, el consumo energético rebasa los 12,476 mtpé (millones de toneladas de petróleo equivalente) (BP, 2013), de los cuales, más del 90% se deriva de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), a una tasa de crecimiento promedio del 2% anual (The World Bank, 2014). Estos niveles de consumo exorbitantes se deben a factores como el acelerado crecimiento poblacional, la intensiva urbanización y a las elevadas demandas de los diversos procesos de industrialización a nivel mundial. En consecuencia, el enorme consumo energético provoca la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente de dióxido de carbono (CO₂) y un severo y acelerado deterioro del medio ambiente.

Se sabe que la energía es esencial para el desarrollo social y económico de la población, sin embargo, el problema se encuentra en el uso irracional que se hace de esta y en su origen, mayormente fósil. Por ello, las principales consecuencias del modelo actual de consumo de energía son:

- Deterioro del medioambiente y la biodiversidad: uno de los problemas más importantes que genera el actual modelo energético se encuentra en el uso de los combustibles fósiles más contaminantes. Y es que la producción y el uso de energía suponen hoy la principal causa, junto con el transporte, de las emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del cambio climático. Esto provoca cambios en el ecosistema derivados, por ejemplo, de la explotación de yacimientos, la emisión de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera o la

contaminación de aguas o suelos. Todo ello lleva a un aumento de las temperaturas del planeta, una subida del nivel del mar, una pérdida de la biodiversidad y a un empeoramiento de la calidad del aire, entre otros.

- Agotamiento de recursos: las energías provenientes de los combustibles fósiles, como ya sabemos, no son inagotables; de modo que si se hace un uso excesivo de estos recursos pueden llegar a agotarse antes de lo previsto.

La eficiencia energética es el primer combustible de un sistema energético mundial sostenible. Puede ayudar a mitigar el cambio climático, mejorar la seguridad energética y hacer crecer las economías. De acuerdo con el Instituto de Estudios Ambientales y Energéticos (EESI) eficiencia energética se refiere a utilizar menos energía para realizar la misma tarea, es decir, eliminar el desperdicio de energía.

La eficiencia energética trae consigo una variedad de beneficios:

- Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Reduce la demanda de importaciones de energía.
- Es la forma más barata y rápida de reducir el uso de combustibles fósiles.

La eficiencia energética busca proteger al medio ambiente mediante la reducción de la intensidad energética. Habitando al usuario a consumir únicamente la energía indispensable.

Entre más energía utilizamos, más emisiones de gases de efecto invernadero se emiten a la atmósfera; por ende se agotan las reservas de recursos naturales no renovables. Tales como el petróleo, el carbón y el gas. Tenemos que reducir nuestra

dependencia de estas fuentes de energía; una forma de hacerlo es asegurarnos de que todos usamos la energía de la forma más eficiente posible (CCEEA, 2020).

Para ilustrar mejor el impacto ambiental del uso de energía, se tiene que explorar qué hacen los gases de efecto invernadero.

Los gases de efecto invernadero son inherentemente dañinos. Estos gases, que incluyen dióxido de carbono y metano, actúan como un efecto invernadero global. Evitan que el calor del sol se escape de la atmósfera terrestre. Mantiene la tierra caliente y habitable para millones de especies.

Otra forma en que el uso de energía impacta el medio ambiente es a través de la contaminación del aire. La quema de combustibles fósiles libera contaminantes al aire, como dióxido de azufre, hollín, mercurio y óxidos de nitrógeno. En los últimos años, las plantas de energía habían sido proactivas para mitigar la contaminación del aire y atrapar los contaminantes antes de que se liberaran al aire.

Sin embargo, la forma más eficaz de reducirlo es consumir menos combustible. Y esto solo sucedería si las casas y los edificios demandaran menos energía.

Otro aspecto crítico de la conservación de la energía es su impacto en los ecosistemas vivos. Las comunidades humanas no son las únicas afectadas por el calentamiento global. El cambio climático afecta las selvas tropicales, el nivel del mar, los desiertos y otros lugares deshabitados por personas.

La alteración del hábitat es el daño principal. Un ejemplo claro son los osos polares. A medida que el calentamiento global derrite el hielo de los casquetes polares,

los osos tienen menos tierra para vivir. Mientras tanto, el aumento del nivel del mar inunda los hábitats naturales y desplaza a innumerables animales.

4.1 GASES DE EFECTO INVERNADERO

Debido a la actividad humana, las concentraciones de gases de efecto invernadero se dispararon, atrapando demasiado calor. El calentamiento global, como se llama el fenómeno, se puede ver en el Resumen del clima global de 2019 de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. Desde 1880, la temperatura combinada de la tierra y el océano aumentó a un promedio de 0.13°F por década. Sin embargo, la tasa promedio desde 1981 es de 0.32°F; es el doble (Catorce6, 2020).

Este cambio climático conduce a fenómenos meteorológicos extremos (sequías intensas y tormentas devastadoras) y al aumento del nivel del mar que amenazan con sumergir islas pobladas.

Como tal, para evitar que se acumulen más gases de efecto invernadero en la atmósfera, es vital reducir la quema de combustibles fósiles de todas las formas posibles.

Los gases de efecto invernadero, de los que se suele destacar mucho el CO₂. Hay otros gases de efecto invernadero como el metano CH₄ (56) o el óxido nitroso N₂O (280). Los números entre paréntesis muestran el potencial de calentamiento global frente al CO₂. Es decir, 1 kg de CH₄ calienta la atmósfera lo mismo que 56 kg de CO₂; y 1 kg de N₂O lo hace como 280 kg de CO₂ [6].

El CO₂, en este caso, se vuelve la unidad con la que medir y comparar procesos muy diferentes entre sí como combustión térmica del diésel, la crianza de una cabeza de ganado, o excavar los materiales para construir una vivienda.

También se usa para comprar y vender títulos de emisión de carbono. La idea tras este mercado de emisiones de CO₂ está en que los países que más contaminen paguen más impuestos que vayan destinados a las fuentes de generación de energía limpia, entre otros destinos; y se comercia con el derecho de emisión del mismo modo que con cualquier otro bien.

Los expertos advierten que en el modo de producir y usar la energía actual radica gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global. Sin embargo, hay muchas actividades cuyas consecuencias se pueden evitar. Desde que las personas se levantan por la mañana hasta que se acuestan por la noche se generan gases de efecto invernadero. Los hábitos de consumo, la alimentación, la energía, los modos de transporte que se usan, el tipo de vivienda que se habitan, la gestión de residuos, la eficiencia energética, etcétera. Todo emite CO₂. Dado el peligro ya constatado del cambio climático, el fin está en emitir menos y ser más responsables con el planeta.

Como se mencionó, el uso de la energía también produce directa o indirectamente emisiones de gases de efecto invernadero por lo que en todo proyecto de eficiencia energética es posible determinar la cantidad de gases de efecto invernadero que se están evitando emitir. Ember, un grupo de expertos en energía independiente que utiliza conocimientos basados en datos para cambiar el mundo hacia la electricidad limpia,

proporciona la cantidad de emisiones equivalentes de CO₂ emitidas por cada kWh. Para El Salvador se tiene un promedio de 175.1 gCO_{2eq}/kWh [7].

Cuando se habla de gases de efecto invernadero se suele mencionar el tema de la huella de carbono. Esta es, la cantidad total de gases de efecto invernadero que genera una empresa, un producto o, incluso, una familia. Para poder calcularla se analiza todo el ciclo de vida, es decir, se cuantifica la cantidad de toneladas de CO₂ que se emiten al conseguir la materia prima, la fabricación, el transporte, etc.

Que las empresas calculen su huella de carbono es una forma de ser conscientes del impacto que generan y poder actuar en consecuencia, aplicando medidas que ayuden a reducir las emisiones de CO₂. Una labor importante si se tiene en cuenta el papel que juegan las corporaciones en esta transformación hacia un mundo con una menor huella de carbono.

El gasto energético y la huella de carbono tienen una relación directa, ya que cuanto mayor sea el gasto energético mayor será la emisión de CO₂ que se emite a la atmósfera y, por tanto, mayor será la huella de carbono. El gasto energético y la huella de carbono tienen una relación directa, ya que cuanto mayor sea el gasto energético mayor será la emisión de CO₂ que se emite a la atmósfera y, por tanto, mayor será la huella de carbono.

El objetivo de la eficiencia energética será entonces reducir la huella de carbono de un proceso o de la empresa por completo a través de distintas metodologías o gestiones.

En la web existen herramientas que nos colaboran a entender mayormente los beneficios que trae consigo la puesta en marcha de la eficiencia energética en los procesos de la empresa, esto a través de comparaciones sencillas o cotidianas como por ejemplo, barriles de petróleo ahorrados, cantidad de celulares inteligentes cargados, galones de gasolina consumidos, en otros.

Lo anterior se logra a partir de factores de conversión determinado a partir de distintos estudios que han sido recabados por EIA (Energy Information Administration) o IPCC (Intergovernmental Panel on Change Climate), con el apoyo de algunas instituciones como Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos a continuación se muestran algunas de las equivalencias:

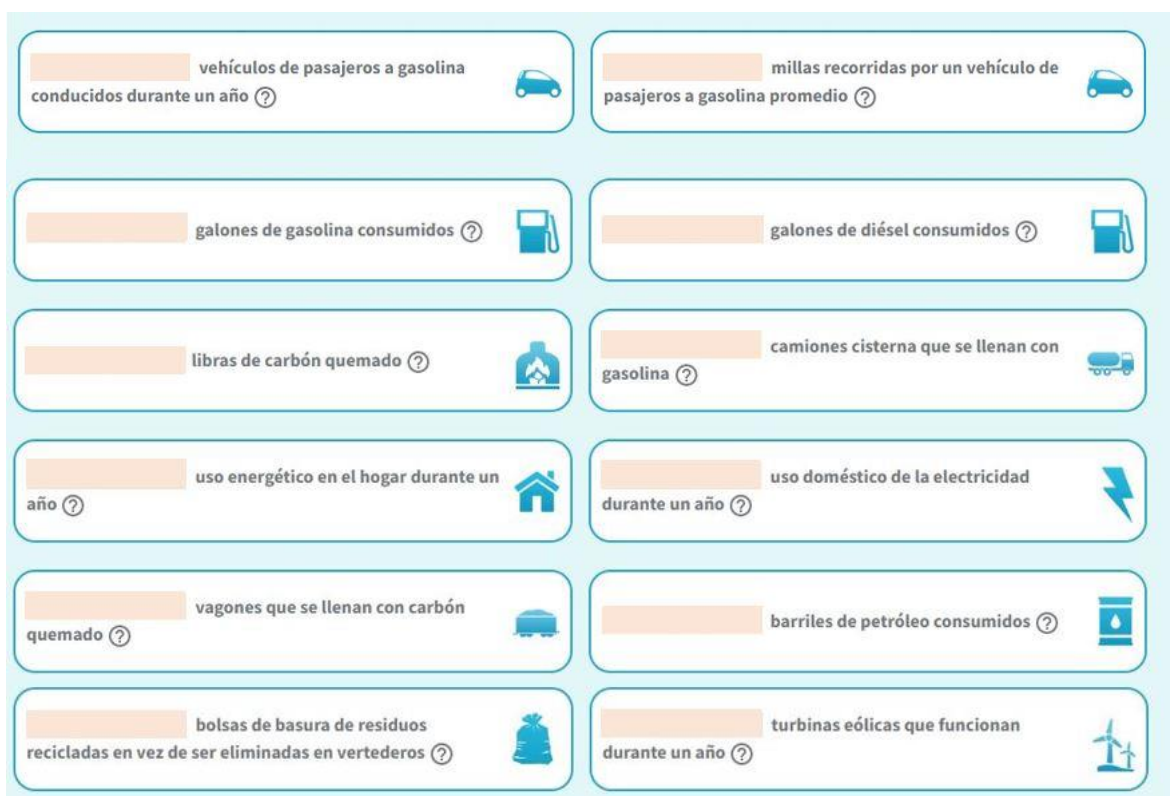


Figura 35. Equivalencias de gases de efecto invernadero. Fuente: EPA, 2022.

5. CASO PRACTICO

Una empresa azucarera brinda la oportunidad de aplicar la metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética en su sistema de aire comprimido. La empresa brindo el acceso a información como los distintos puntos de consumo, datos técnicos de los elementos que componen, fotografías de sus puntos de consumo y permitió además realizar la prueba para la estimación de fugas. No se pudo tener acceso a planos isométricos, diagramas de proceso o cualquier otro tipo de diagrama debido a la naturaleza del proceso exclusivo de la empresa.

OBJETIVO GENERAL

Reducir en al menos un 25% el consumo de energía del sistema de aire comprimido a través de la aplicación de la metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar la eficiencia energética por medio de la gestión para la reducción del consumo de energía.
- Definir los consumos de energía y aire comprimido relacionados con el sistema de aire comprimido.
- Establecer oportunidades de mejora del sistema de aire comprimido.

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información general que se recopiló se encuentra en el siguiente cuadro:

TABLA 30. DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN		
Periodo de trabajo:	Zafra 2021 - 2022 (Noviembre 2021-Abril 2022)	
Nombre de la empresa:	Ingenio Azucarero	
Descripción de la empresa:	Es una empresa dedicada exclusivamente a la producción de azúcar cruda y azúcar blanca, además de subproductos como miel y bagazo para utilizarse como biomasa. Recientemente se genera energía eléctrica para venta a nivel nacional.	
Descripción de la instalación:	El sistema de aire comprimido de la empresa cuenta con una sala exclusiva para la generación de este, en ella se encuentra un compresor Kaeser BSD 50, un secador Compair, un tanque de almacenamiento de 2000 litros y sus respectivos filtros. Debido a la naturaleza del proceso la sala de compresores se encuentra a una distancia considerable de la mayoría de puntos de consumo. La mayor aplicación del aire comprimido dentro de la empresa es para la instrumentación.	
Documentación que deberá anexar (Seleccionar con un cheque si cuenta con ella)	Facturas y boletas de electricidad	No
	Planos	No
	Tiempos de funcionamiento de los equipos	Si
	Listado de materiales, equipos y puntos de consumo	Si

Además se tiene la información técnica de los siguientes elementos:

TABLA 31. INFORMACIÓN COMPRESOR

Compresores	
Parámetro	Valor
Fabricante	Kaeser
Modelo	BSD 50
Tipo	Tornillo
Año de adquisición	2015
Voltajes/Fases	480/3 fases
Corriente	-
Potencia nominal	50 HP
Eficiencia	-
Presión nominal	8 bar
Recuperación de calor	-

TABLA 32. INFORMACIÓN SECADOR

Secadores	
Parámetro	Valor
Fabricante	CompAir
Tipo	Frigorífico
Año de adquisición	2008
Caudal	289 cfm
Punto de rocío	-
Presión máxima de trabajo	9 bar
Tem. Máxima de entrada	-
Tem. Mínima de salida	-
Caída de presión	0.5 psi

TABLA 33. INFORMACIÓN TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Tanques de almacenamiento	
Parámetro	Valor
Año de adquisición	2008
Capacidad (L)	2000
Presión de salida del aire	8 bar
Diámetro (m)	0.80
Orientación	Vertical
Accesorios	Purga y manómetros

**Figura 36. Compresor Kaeser BSD 50**



Figura 37. Secador CompAir



Figura 38. Tanque de almacenamiento

También se cuenta con los tiempos de operación del compresor y el secador:

TABLA 34. HORAS DE OPERACIÓN - COMPRESOR

		Compresor Kaeser BSD 50	
Noviembre	Punta	32	
	Resto	100	
	Valle	45	
Diciembre	Punta	100	
	Resto	295	
	Valle	145	
Enero	Punta	112	
	Resto	296	
	Valle	123	
Febrero	Punta	109	
	Resto	310	
	Valle	134	
Marzo	Punta	143	
	Resto	334	
	Valle	140	
Abril	Punta	40	
	Resto	92	
	Valle	50	

TABLA 35. HORAS DE OPERACIÓN - SECADOR

		Secador CompAir	
Noviembre	Punta	23	
	Resto	87	
	Valle	34	
Diciembre	Punta	73	
	Resto	260	
	Valle	105	
Enero	Punta	81	
	Resto	103	
	Valle	92	
Febrero	Punta	91	
	Resto	280	
	Valle	106	
Marzo	Punta	119	
	Resto	300	
	Valle	110	
Abril	Punta	27	
	Resto	80	
	Valle	37	

ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO

TABLA 36. PROCESO PRODUCTIVO

ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN		
Descripción del proceso:	<p>El proceso productivo inicia con la extracción del jugo de la caña de azúcar a través de 5 molinos, a partir del segundo molino se utiliza la técnica de maceración para la mayor extracción del jugo, en el último se utiliza agua de imbibición para extraer del bagazo hasta un 98%. El bagazo posteriormente es llevado hasta las calderas donde es utilizado como biomasa. En las calderas existen distintas válvulas operadas neumáticamente y a su vez conectadas a un PLC que controla variables como nivel, presión, temperatura para mantener a estas en los valores adecuados de la operación. El jugo por su parte es obligado a pasar por un filtro rotativo con el objetivo de retirar todo el bagazo que aún pueda haber en él para enviarlo posteriormente a los calentadores que cuenta con una válvula neumática que permite el paso de vapor para lograr la temperatura adecuada en ellos. Luego son enviados a un tanque de flasheo donde se comienza a evaporar el agua presente en el jugo para luego ser enviados a los clarificadores donde se separa el jugo del lodo aún presente en este. Una vez concluida la extracción son enviados a los precalentadores cuyo objetivo es calentar el jugo hasta cierta temperatura para posteriormente ser enviados de nuevo a los evaporadores donde al jugo se le extrae la mayor cantidad de agua posible, de acá surge la meladura. Esta es enviada a tanques donde al ser mezclada con miel de segunda o tercera y, magma de primera o segunda forman nuevas mieles que llegarán a las centrifugas que son llenadas a través de válvulas neumáticas hasta los niveles indicados. Acá se obtiene la azúcar final que es enviada al almacenamiento o a su envasado, además de las mieles o magmas utilizados en los tachos.</p>	
Descripción de los productos:	<p>La empresa genera 3 productos finales, azúcar cruda que será exportada en su totalidad, azúcar blanca que será ensacada para su posterior almacenamiento y miel final que de igual manera se exporta.</p>	
MEDICIÓN Y RECOGIDA DE DATOS		
Información indispensable para aplicar la metodología (Seleccionar con un cheque si cuenta con ella)	Consumo de aire comprimido	No
	Porcentaje de fugas de aire comprimido	No
	Presión de descarga de los compresores	Si

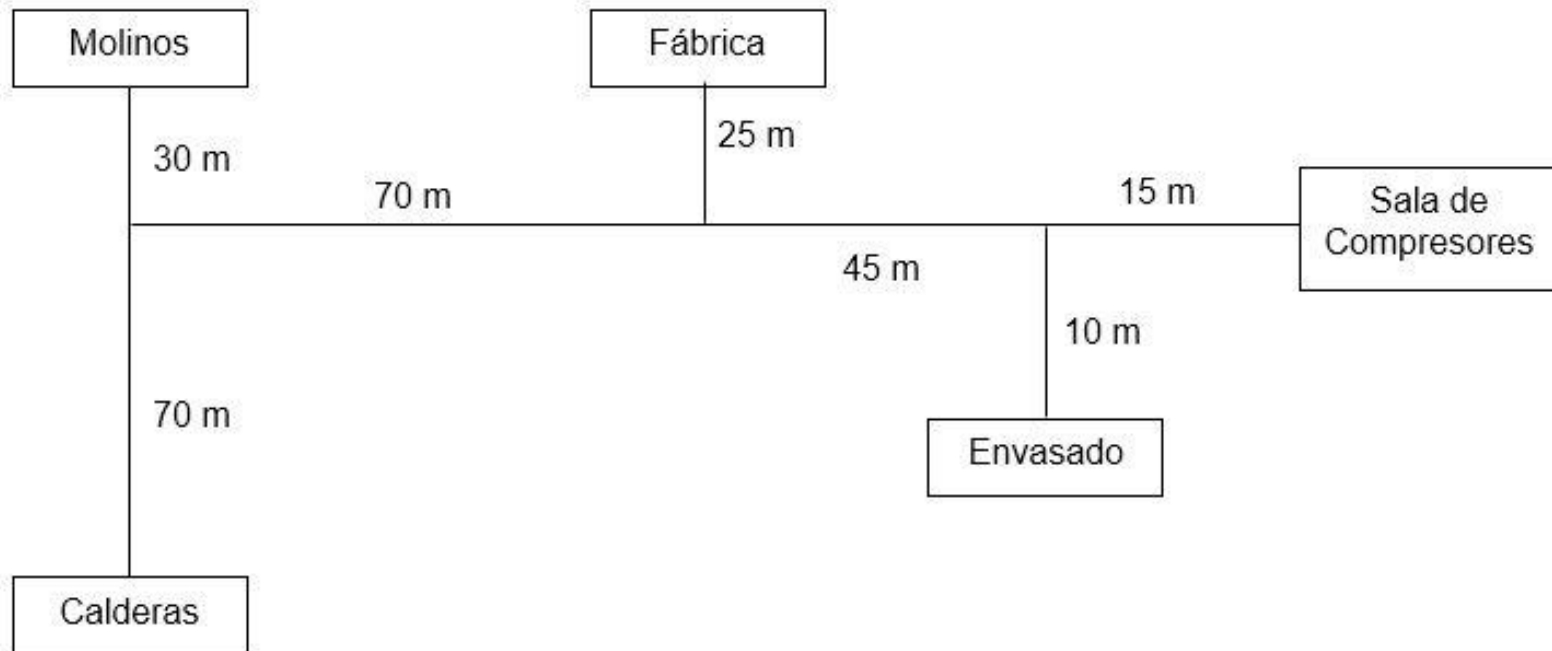


Figura 39. Distribución sistema de aire comprimido

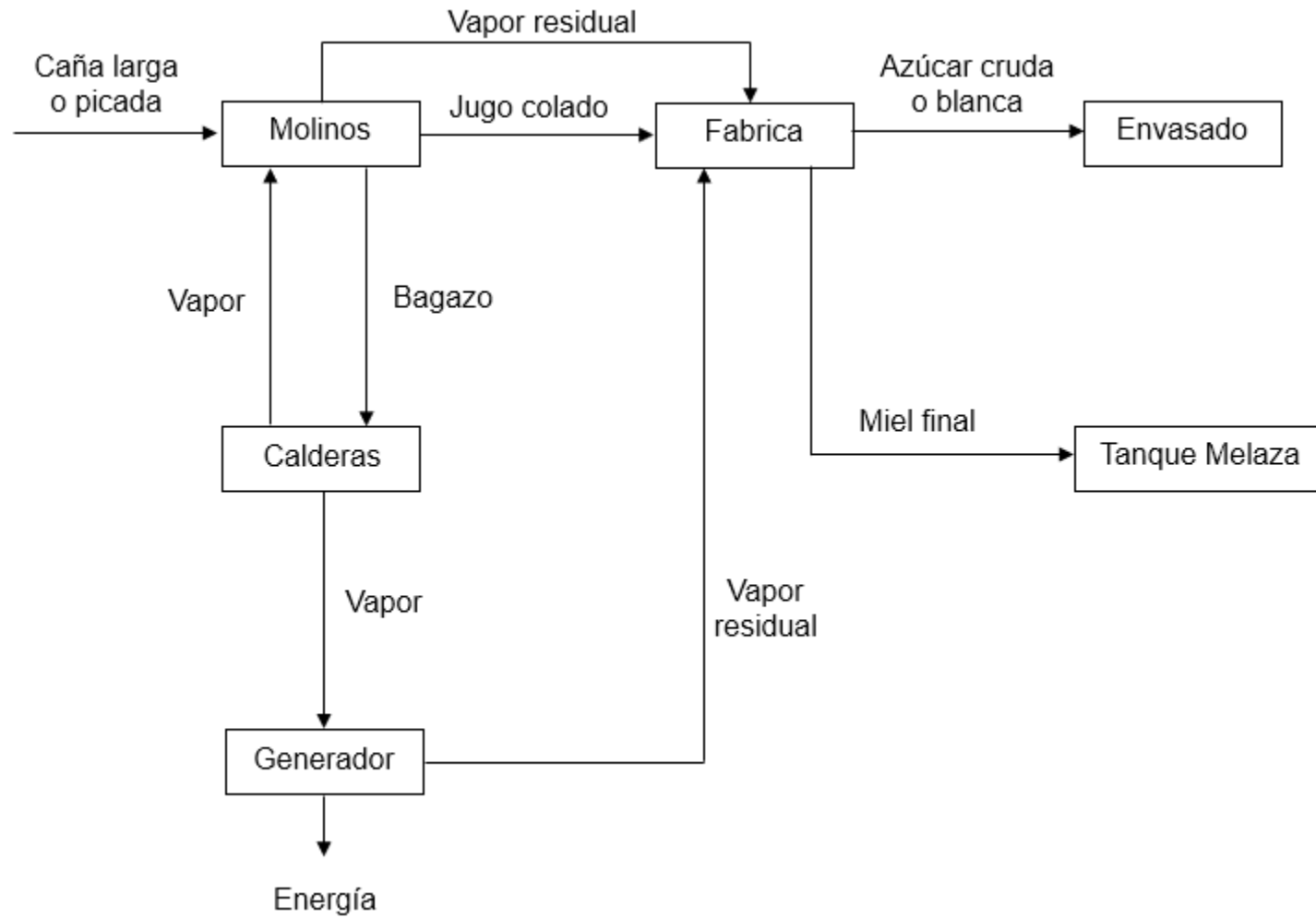


Figura 40. Proceso productivo

MEDICIÓN Y RECOGIDA DE DATOS

Para los puntos de consumo se tiene la siguiente información brinda por parte de la empresa: Nombre del usuario final, cantidad, presión, diámetro, altura, tiempo de actuación y ciclos por minuto. A partir de la cual se determina el consumo teórico de aire comprimido individual aplicado para el actuador Fisher para válvula de alivio de presión de deaireador de 5" se hace de la siguiente manera:

$$Q = \frac{\text{Volumen actuador}[cm^3]}{472 * \text{Tiempo de actuación}[s]} = \frac{\frac{\pi}{4}(10)(30)^2}{472(2)} = 7.49 \text{ cfm}$$

Para determinar el tiempo de utilización por hora del actuador Fisher se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de utilización} = \frac{\# \text{ ciclo} * \text{Tiempo de actuación}}{60} = \frac{(600)(2)}{60} = 20 \frac{\text{min}}{\text{h}}$$

Para el consumo real de aire se necesitan los factores de utilización y simultaneidad:

$$F.U = \frac{\text{Tiempo utilización en minutos}}{60 \text{ minutos}} = \frac{20}{60} = 0.333$$

$$F.S = \frac{\# \text{Operaciones simultaneas}}{\# \text{Actuadores neumáticos}} = \frac{1}{1} = 1$$

El consumo de aire comprimido real para el actuador Fisher, considerando un 10% de perdidas por fugas es de:

$$C.Real = 1.1 * F.U * F.S * N.Máq * C.Teórico = 1.1 * 0.333 * 1 * 1 * 7.49 = 2.75 \text{ cfm}$$

Aplicando lo anterior se obtienen los resultados para todos los actuadores:

TABLA 37. USUARIOS FINALES DE AIRE COMPRIMIDO

Descripción	Cantidad	Presión (bar)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Tiempo de actuación (s)	Consumo de aire individual a 5 bar (CFM)	Ciclos por minuto	Utilización de una hora (min)
Actuador Fisher para válvula de alivio de presión de deaireador de 5"	1	4	30	10	2	7.49	600	20.00
Actuador Masoneilan para válvula de retorno de 3"	2	4	30	15	3	7.49	500	25.00
Actuador Fisher para válvula reductora de presión de 2"	1	4	20	8	3	1.77	400	20.00
Actuador Fisher para aspersores de enfriamiento de 1"	2	4	10	4	3	0.22	500	25.00
Actuador Bray para válvula de control de presión de vapor de escape de 8"	1	4	20	40	5	5.32	350	29.17
Actuador Bray para válvula de control de presión de vapor de vegetal de 8"	1	4	15	40	5	3.00	350	29.17
Actuador Fisher para damper de tiro forzado	2	4	30	10	1	14.98	600	10.00
Actuador Fisher para damper de tiro inducido	2	4	30	10	1	14.98	600	10.00
Bombas de diafragma	4	4	-	-	1	2.50	Continua	60.00
Puntos para limpieza de personal	2	-	-	-	30	54.00	10	5.00
Puntos para limpieza de maquinaria	2	-	-	-	120	54.00	4	8.00
Actuador Bray para válvula de mariposa de 12"	15	4	20	40	4	6.66	300	20.00
Actuador Bray para válvula de mariposa de 8"	15	4	15	30	4	2.81	300	20.00
Punto de limpieza de personal	2	-	-	-	30	54.00	10	5.00
Cilindro de doble efecto	2	3	2.5	20	1	0.42	600	20.00
Actuador Bray para válvula de agua de imbibición de 2"	2	4	5	15	2	0.31	400	13.33
Actuador Bray para válvula de agua de enfriamiento de 4"	2	4	10	30	3	1.66	360	18.00
Bomba de lubricación Lincoln de molinos	2	4	10	10	1	1.66	600	10.00

Actuador Fisher para atemperador de agua de imbibición	1	4	20	2	1	1.33	400	6.67
Actuador Fisher para nivel de tanque de imbibición	1	4	20	10	1	6.66	400	6.67
Puntos para limpieza de personal	8	-	-	-	30	54.00	10	5.00
Puntos para limpieza de maquinaria	2	-	-	-	120	54.00	6	12.00
Actuador Bray para válvula de vapor de calentadores de 10"	3	4	15	30	1	11.23	600	10.00
Actuador Fisher para nivel de preevaporadores	3	4	30	10	2	7.49	350	11.67
Actuador Fisher para nivel de meladores	3	4	30	10	2	7.49	350	11.67
Actuador Bray para válvula de vapor de meladores de 24"	3	4	25	70	3	24.27	300	15.00
Bombas enfriadas por aire comprimido	2	-	-	-	60	54.00	10	10.00
Actuador de válvula de descarga de tanque de flasheo de 12"	6	4	15	40	3	4.99	350	17.50
Punto de limpieza de personal	4	-	-	-	30	54.00	10	5.00
Bomba de lubricación Lincoln de cristalizadoras	2	4	10	10	2	0.83	400	13.33
Actuador Bray para válvula de inyección de vapor a turbinas de 5 MW de 18"	4	4	20	70	1	46.59	400	6.67
Actuador Bray para válvula de escape de vapor de turbina de 5 MW de 12"	4	4	20	50	1	33.28	400	6.67
Actuador Bray para válvula de inyección de vapor en molinos de 8"	4	4	20	50	1	33.28	400	6.67
Actuador Bray para válvula de inyección de vapor hacia fabrica de 8"	4	4	20	50	1	33.28	400	6.67
Actuador Bray para válvula de vapor de escape auxiliar	1	4	20	50	1	33.28	100	1.67

Analizando los puntos de consumo se obtienen los siguientes resultados como consumo de aire comprimido del sistema:

TABLA 38. CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO DE LOS USUARIOS FINALES

Análisis de los puntos de consumo							
Punto de consumo	Cantidad de maquinas	Consumo teórico (CFM)	Utilización por hora (min)	Cantidad de operaciones simultaneas	F.U	F.S	Consumo real de aire (CFM)
Actuador Fisher para válvula de alivio de presión de deaireador de 5"	1	7.49	20.00	1	0.33	1	2.75
Actuador Masoneilan para válvula de retorno de 3"	2	7.49	25.00	2	0.42	1	6.86
Actuador Fisher para válvula reductora de presión de 2"	1	1.77	20.00	1	0.33	1	0.65
Actuador Fisher para aspersores de enfriamiento de 1"	2	0.22	25.00	2	0.42	1	0.20
Actuador Bray para válvula de control de presión de vapor de escape de 8"	1	5.32	29.17	1	0.49	1	2.85
Actuador Bray para válvula de control de presión de vapor de vegetal de 8"	1	3.00	29.17	1	0.49	1	1.60
Actuador Fisher para damper de tiro forzado	2	14.98	10.00	1	0.17	0.5	2.75
Actuador Fisher para damper de tiro inducido	2	14.98	10.00	1	0.17	0.5	2.75
Bombas de diafragma	4	2.50	60.00	4	1.00	1	11.00
Puntos para limpieza de personal	2	54.00	5.00	1	0.08	0.5	4.95
Puntos para limpieza de maquinaria	2	54.00	8.00	1	0.13	0.5	7.92
Actuador Bray para válvula de mariposa de 12"	15	6.66	20.00	6	0.33	0.4	14.64
Actuador Bray para válvula de mariposa de 8"	15	2.81	20.00	6	0.33	0.4	6.18
Punto de limpieza de personal	2	54.00	5.00	1	0.08	0.5	4.95
Cilindro de doble efecto	2	0.42	20.00	2	0.33	1	0.31
Actuador Bray para válvula de agua de imbibición de 2"	2	0.31	13.33	2	0.22	1	0.15

Actuador Bray para válvula de agua de enfriamiento de 4"	2	1.66	18.00	2	0.30	1	1.10
Bomba de lubricación Lincoln	2	1.66	10.00	2	0.17	1	0.61
Actuador Fisher para atemperador de agua de imbibición	1	1.33	6.67	1	0.11	1	0.16
Actuador Fisher para nivel de tanque de imbibición	1	6.66	6.67	1	0.11	1	0.81
Puntos para limpieza de personal	8	54.00	5.00	2	0.08	0.25	9.90
Puntos para limpieza de maquinaria	2	54.00	12.00	1	0.20	0.5	11.88
Actuador Bray para válvula de vapor de calentadores de 10"	3	11.23	10.00	3	0.17	1	6.18
Actuador Fisher para nivel de preevaporadores	3	7.49	11.67	3	0.19	1	4.80
Actuador Fisher para nivel de meladores	3	7.49	11.67	3	0.19	1	4.80
Actuador Bray para válvula de vapor de meladores de 18"	3	24.27	15.00	3	0.25	1	20.02
Bombas enfriadas por aire comprimido	2	54.00	10.00	1	0.17	0.5	9.90
Actuador de tanque de flasheo de 12"	6	4.99	17.50	3	0.29	0.5	4.80
Punto de limpieza de personal	4	54.00	5.00	1	0.08	0.25	4.95
Bomba de lubricación Lincoln	2	0.83	6.67	20	0.11	10	2.03
Actuador Bray para válvula de inyección de vapor a turbinas de 5 MW de 18"	4	46.59	6.67	1	0.11	0.25	5.69
Actuador Bray para válvula de escape de vapor de turbina de 5 MW de 12"	4	33.28	6.67	1	0.11	0.25	4.07
Actuador Bray para válvula de inyección de vapor en molinos de 8"	4	33.28	6.67	1	0.11	0.25	4.07
Actuador Bray para válvula de inyección de vapor hacia fabrica de 8"	4	33.28	6.67	1	0.11	0.25	4.07
Actuador Bray para válvula de vapor de escape auxiliar	1	33.28	1.67	1	0.03	1	1.02
TOTAL		693.26				1	171.38



Figura 41. Actuador Fisher para damper de tiro inducido



Figura 42. Actuador Masoneilan para válvula de retorno de 3"



Figura 43. Actuador Bray para válvula de vapor de meladores de 18"

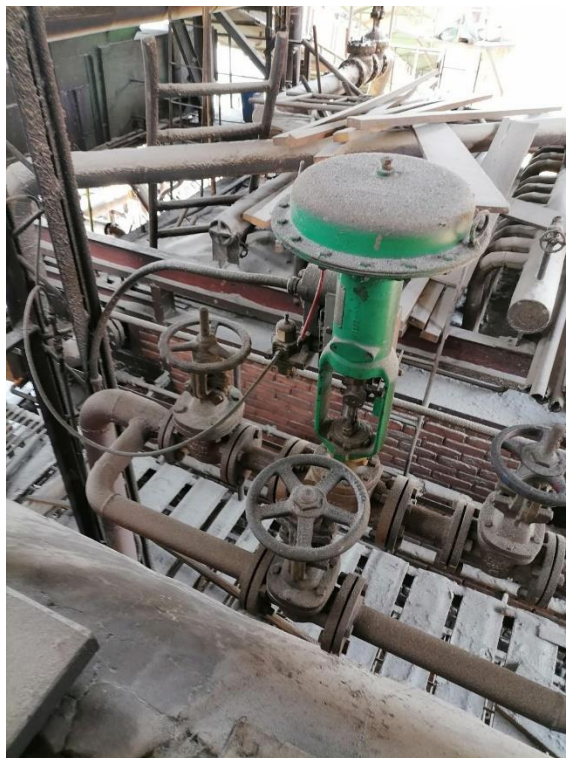


Figura 44. Actuador Fisher para válvula de alivio de presión de deaireador de 5"

De la metodología para la determinación del consumo de aire comprimido se obtiene como resultado que el sistema demanda 171.38 CFM, sin considerar las pérdidas en el sistema.

FUGAS EN EL SISTEMA

En uno de los paros programados para reparaciones generales en la planta se pudo realizar la prueba de fugas ya que en este momento todos los puntos de consumo se encuentran totalmente bloqueado. La prueba se realizó mediante el On/Off. El compresor cuenta con sistema de control por el método Load/Unload y trabaja a una presión de 8 bares. Se hizo llegar al tanque de almacenamiento hasta una presión de 8 bares, de donde se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 39. DATOS DE ENTRADA PARA ESTIMACIÓN DE FUGAS

Fugas de aire comprimido - Método ON-OFF	
Tiempo de compresor de encendido	25
Tiempo de compresor apagado	38
Potencia nominal del compresor	37.285
Horas de operación al año	5600
CAFF	0.74
Porcentaje de fugas esperado	20%

Obteniendo como resultados los siguientes:

$$L_f = \frac{T}{T + t} * 100\% = \frac{25}{38 + 25} * 100\% = 39.68\%$$

$$q_f = q_r * L_f = 171.38 * 0.3968 = 68.01 \text{ cfm}$$

TABLA 40. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE FUGAS

Método On-Off	
Parámetro	Valor
% de fugas	39.68%
Caudal perdido	68.01
Caudal real consumido	239.38

El consumo real del sistema de aire comprimido, considerando las fugas será por lo tanto de 239.38 CFM.

PRESIÓN MÍNIMA DE DESCARGA

Teniendo en cuenta la distancia desde la sala de compresores hasta estos y la presión de operación se determinaron como críticos los siguientes puntos, también se ha considerado una tubería de un diámetro promedio de 2" y como caudal de circulación el caudal total. Aplicando la metodología para determinar la presión mínima de seteo se obtuvieron estos resultados:

TABLA 41. DATOS DE ENTRADA PARA ESTIMACIÓN DE PRESIÓN DE SETEO - CASO 1

Actuador Masoneilan para válvula de retorno	
Presión mínima requerida	4
Longitud del tramo crítico	200
Diámetro del tramo crítico	0.0508
Suma K en los accesorios	15
Densidad	1.29
Viscosidad	0.0000133
Rugosidad	0.00015

La primera parte para determinar la presión mínima de seteo es conocer las pérdidas primarias y secundarias, para lo que es necesario conocer el factor de fricción pero antes de eso el número de Reynolds:

$$Re = \frac{1.8878 \times 10^{-3} Q}{\pi D \nu}$$

Donde Q está en cfm, el diámetro en metros y la viscosidad cinemática en m²/s.

Con lo que se obtiene para este primer caso los siguientes resultados:

$$Re = \frac{1.8878 \times 10^{-3} Q}{\pi D \nu} = \frac{1.8878 \times 10^{-3} (239.38)}{\pi (0.0508) (0.0000133)} = 212901.6$$

$$f = \frac{1}{\left(-1.8 \log \left(\left(\frac{\epsilon}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right) \right)^2} = \frac{1}{\left(-1.8 \log \left(\left(\frac{0.00015}{0.0508} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{212901.6} \right) \right)^2}$$

$$f = 0.0266721$$

Con lo que se tiene unas pérdidas primarias y secundarias de:

$$\Delta P_{long \text{ y } accesorios} = \frac{1.782 \times 10^{-11} Q^2}{\pi^2 D^4} \left[\frac{fL}{D} + \Sigma k \right] \rho$$

$$\Delta P_{long \text{ y } accesorios} = \frac{1.782 \times 10^{-11} (239.38)^2}{\pi^2 (0.0508)^4} \left[\frac{(0.0266721)(200)}{0.0508} + 15 \right] * 1.29 = 2.405 \text{ bar}$$

Para las pérdidas en los filtros y secadores, estas vienen dadas en psi por lo que es necesario convertirlas a bares de la siguiente manera:

$$\Delta P_{filtros} = \frac{0.5}{14.5} = 0.0344$$

$$\Delta P_{secador} = \frac{0.5}{14.5} = 0.0344$$

Por lo que la presión mínima de seteo para este caso debe ser de:

$$P_{set} = P_{min-req} + \Delta P_{long y accesorios} + \Delta P_{filtros} + \Delta P_{secadores}$$

$$P_{set} = 4 + 2.405 + 0.0344 + 0.0344 = 6.47 \text{ bar}$$

TABLA 42. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE PRESIÓN DE SETEO - CASO 1

Presión mínima de seteo	
Parámetro	Valor
Factor de fricción	0.02685
Caudal (m3/s)	0.1129
Caída de presión en filtros (bar)	0.0344
Caída de presión en secadores (bar)	0.0344
Caída de presión por longitud y accesorios (bar)	2.405
Presión de seteo	6.47

Para cada uno de los casos siguientes se siguieron los pasos descritos con anterioridad a partir de sus respectivos datos de entrada y se obtuvieron los resultados mostrados a continuación:

TABLA 43. DATOS DE ENTRADA PARA ESTIMACIÓN DE PRESIÓN DE SETEO - CASO 2

Bomba de lubricación Lincoln de Molinos	
Presión mínima requerida	4
Longitud del tramo crítico	150
Diámetro del tramo crítico	0.0508
Suma K en los accesorios	30
Densidad	1.29
Viscosidad	0.0000133
Rugosidad	0.00015

TABLA 44. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE PRESIÓN DE SETEO - CASO 2

Presión mínima de seteo	
Parámetro	Valor
Factor de fricción	0.0266721
Caudal (m3/s)	0.1129
Caída de presión en filtros (bar)	0.0344
Caída de presión en secadores (bar)	0.0344
Caída de presión por longitud y accesorios (bar)	2.18
Presión de seteo	6.25

TABLA 45. DATOS DE ENTRADA PARA ESTIMACIÓN DE PRESIÓN DE SETEO - CASO 3

Actuador Bray para válvula inyección de vapor	
Presión mínima requerida	4
Longitud del tramo crítico	210
Diámetro del tramo crítico	0.0508
Suma K en los accesorios	5
Densidad	1.29
Viscosidad	0.0000133
Rugosidad	0.00015

TABLA 46. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN DE SETEO - CASO 3

Presión mínima de seteo	
Parámetro	Valor
Factor de fricción	0.0266721
Caudal (m ³ /s)	0.1129
Caída de presión en filtros (bar)	0.0344
Caída de presión en secadores (bar)	0.0344
Caída de presión por longitud y accesorios (bar)	2.31
Presión de seteo	6.38

Analizando los resultados de las tablas anteriores se determina que el punto de consumo más crítico es el perteneciente a la válvula Masoneilan para válvula de retorno con una presión de 6.47 bar, por lo que se puede redondear a 7 bares para el seteo del compresor considerando perdidas extras que no se puedan representar a través del cálculo matemático.

TEMPERATURA DE ADMISIÓN DEL AIRE

Se midieron también las temperaturas de la sala de compresores y del exterior teniendo los siguientes resultados:

TABLA 47. TEMPERATURAS DE LA SALA DE COMPRESORES

Condiciones sala de compresores	
Temperatura de admisión (Sala de compresores)	37
Temperatura exterior de la sala de compresores	33

CONSUMO DE ENERGÍA

Del pliego tarifario brindado por la SIGET para el periodo actual se tienen los siguientes cargos de energía:

TABLA 48. CARGOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA. FUENTE: SIGET

Cargos de la energía eléctrica		
Cargo de comercialización	12.862377	
Cargo de energía	Punta	0.167472
	Resto	0.155564
	Valle	0.179421
Cargo de distribución	14.549616	

A través de los datos de horas de operación y los cargos de energía eléctrica se obtienen estos resultados para el consumo de energía para el mes de noviembre se encuentran desarrollados a continuación:

$$\text{Consumo}_{\text{Punta-Comp}} = P\Delta T_{\text{Punta}} = (37.285)(32) = 1193.11 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo}_{\text{Punta-Sec}} = P\Delta T_{\text{Punta}} = (1.03)(23) = 23.8 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo}_{\text{Resto-Comp}} = P\Delta T_{\text{Resto}} = (37.285)(100) = 3728.5 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo}_{\text{Resto-Sec}} = P\Delta T_{\text{Resto}} = (1.03)(87) = 89.60 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo}_{\text{Valle-Comp}} = P\Delta T_{\text{Valle}} = (37.285)(45) = 1677.83 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo}_{\text{Valle-Sec}} = P\Delta T_{\text{Valle}} = (1.03)(34) = 35.04 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo}_{\text{Nov}} = 1193.11 + 23.68 + 3728.5 + 89.60 + 1677.83 + 35.04 = 6747.76 \text{ kWh}$$

El costo de comercialización se cobra por usuario por lo tanto este es de \$12.86.

Para el costo de energía se tiene un pliego tarifario para cada una de las franjas horarias:

$$C. \text{ de Energía}_{\text{Punta}} = (1193.11 + 23.68)(0.167472) = \$203.78$$

$$C. \text{ de Energía}_{\text{Resto}} = (3728.5 + 89.60)(0.155564) = \$593.96$$

$$C. \text{ de Energía}_{\text{Valle}} = (1677.83 + 35.04)(0.179421) = \$307.32$$

$$\text{Total costo de energía} = \$203.78 + \$593.96 + \$307.32 = \$1105.06$$

El costo de distribución está relacionado con la potencia instalada:

$$C. \text{ de Distribución} = (37.285 + 1.03)(14.549616) = \$557.47$$

Cabe aclarar que en el análisis no se ha tomado en cuenta el cobro por el pico máximo de consumo. A partir del mismo análisis se determinó para cada uno de los siguientes meses como se muestra en la tabla siguiente:

TABLA 49. COSTOS ACTUALES DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Costos					
Mes	Consumo de energía (kWh)	Costo de comercialización	Costo de energía	Costo de distribución	Total
Noviembre	6747.765	\$ 12.86	\$ 1,105.06	\$ 557.47	\$ 1,675.39
Diciembre	20585.04	\$ 12.86	\$ 3,379.14	\$ 557.47	\$ 3,949.48
Enero	20082.615	\$ 12.86	\$ 3,286.52	\$ 557.47	\$ 3,856.85
Febrero	21109.915	\$ 12.86	\$ 3,455.25	\$ 557.47	\$ 4,025.58
Marzo	23549.715	\$ 12.86	\$ 3,855.67	\$ 557.47	\$ 4,426.00
Abril	6934.19	\$ 12.86	\$ 1,142.19	\$ 557.47	\$ 1,712.52
TOTAL	99009.24	\$ 77.17	\$ 16,223.84	\$ 3,344.81	\$ 19,645.83

La empresa tiene un costo actual de \$19,645.83 relacionado con la generación y consumo de aire comprimido.

CONTABILIDAD ENERGÉTICA ACTUAL

La situación actual de la empresa en el tema de consumo de energía y generación de aire comprimido se puede entender a partir del índice de consumo diario de energía, la línea base y el índice de aire comprimido. Para la realización de la línea base se hará a partir del consumo de energía diario, no se tuvo en cuenta ninguna otra variable como la cantidad de azúcar obtenida al día, ya que existen muchos factores que inciden sobre la producción de azúcar por lo tanto un índice que tenga en cuenta esto no tendrá un valor significativo para la empresa. Por lo que:

$$C_{diario} = \frac{E_{ac}}{d} = \frac{6747.765}{31} = 217.67 \frac{kWh}{día}$$

$$IAC = \frac{37.285}{239.38(0.0004719)(60)} = 5.50 \frac{kW}{\frac{m^3}{min}}$$

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{8 + 1.01325}{1.01325} = 8.90$$

TABLA 50. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Análisis del consumo de energía				
Mes	Días	Consumo (kWh)	Consumo diario (kWh/día)	Costo
Noviembre	31	6747.765	217.67	\$ 1,675.39
Diciembre	28	20585.04	735.18	\$ 3,949.48
Enero	31	20082.615	647.83	\$ 3,856.85
Febrero	30	21109.915	703.66	\$ 4,025.58
Marzo	31	23549.715	759.67	\$ 4,426.00
Abril	30	6934.19	231.14	\$ 1,712.52
Total	181	99009.24		\$ 19,645.83

GRÁFICO 6. LÍNEA BASE ACTUAL

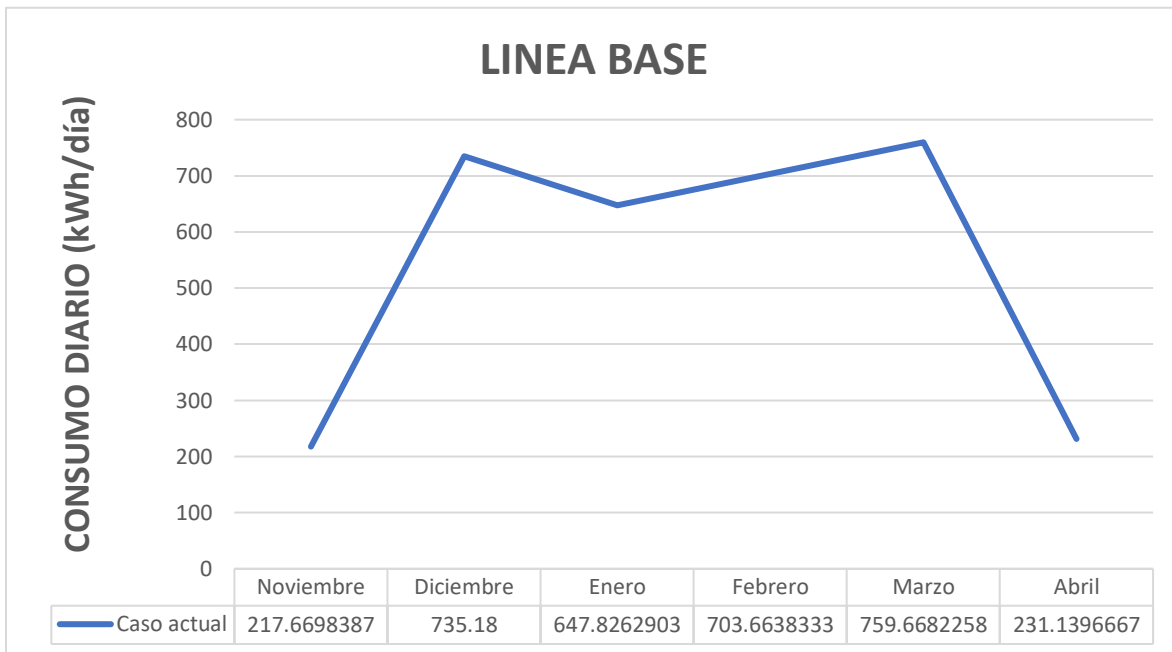
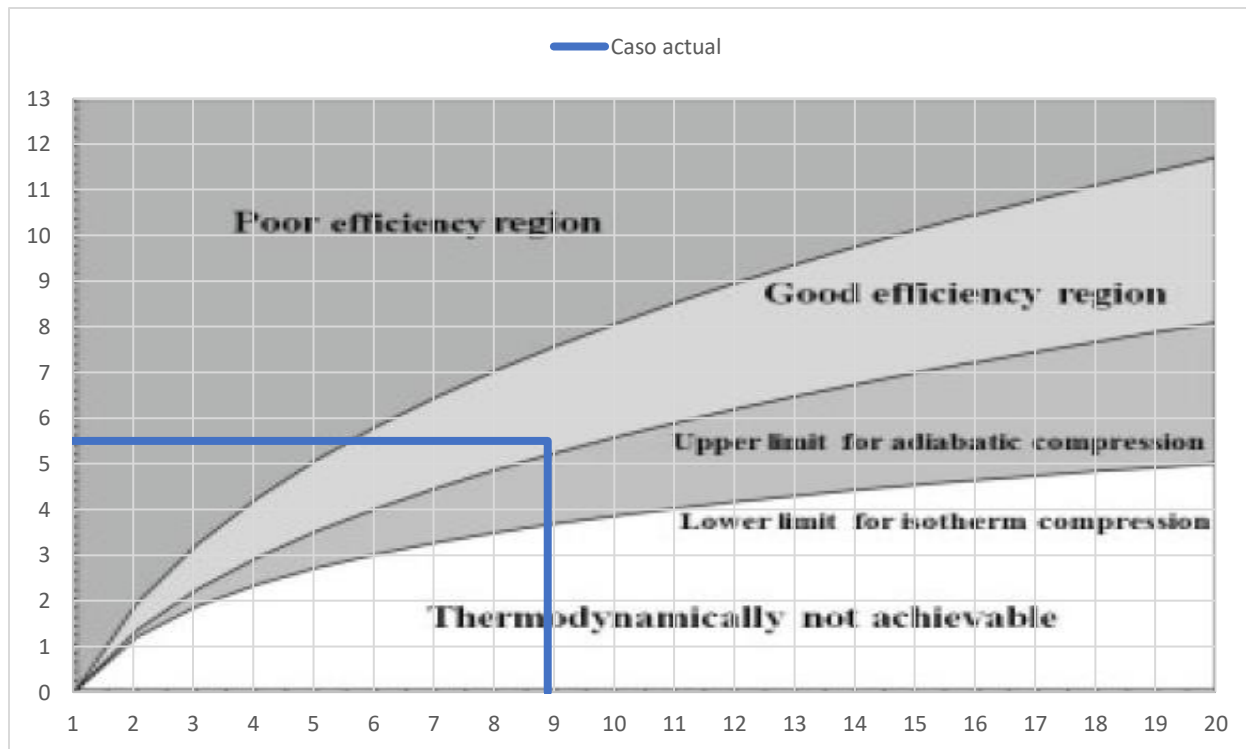


GRÁFICO 7. IAC ACTUAL



PROPUESTAS DE MEJORA

REDUCCIÓN DE FUGAS Y REPARACIÓN DE LAS FUGAS DE AIRE

Los resultados de la aplicación de la medida reducción de fugas para el mes de noviembre y la tabla resumen para los demás meses se muestran a continuación:

$$E_{SF} = L_f * FL * H * CCAF * FU$$

$$E_{SF-Punta} = 0.1968 * 37.285 * 32 * 0.74 * 1 = 173.78 \text{ kWh}$$

$$E_{SF-Resto} = 0.1968 * 37.285 * 100 * 0.74 * 1 = 543.06 \text{ kWh}$$

$$E_{SF-Valle} = 0.1968 * 37.285 * 45 * 0.74 * 1 = 244.37 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro energético} = 173.78 + 543.06 + 244.37 = 961.2 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro monetario}_{Punta} = 173.78 * 0.167472 = \$ 29.1$$

$$\text{Ahorro monetario}_{Resto} = 543.06 * 0.155564 = \$ 84.48$$

$$\text{Ahorro monetario}_{Valle} = 244.37 * 0.179421 = \$ 43.85$$

$$\text{Ahorro monetario} = \$29.1 + \$84.48 + \$43.85 = \$157.43$$

TABLA 51. AHORRO ENERGÉTICO - REDUCCIÓN DE FUGAS

AHORROS TOTALES	
Mes	Ahorro (kWh)
Noviembre	961.2144019
Diciembre	2932.518514
Enero	2883.643206
Febrero	3003.116182
Marzo	3350.673932
Abril	988.3673511
TOTAL	14119.53359

TABLA 52. AHORRO MONETARIO - REDUCCIÓN DE FUGAS

AHORRO MONETARIO	
Ahorro en punta	\$ 487.48
Ahorro en resto	\$ 1,205.54
Ahorro en valle	\$ 620.67
Total	\$ 2,313.68

Aplicando la medida de eficiencia energética de reducción de fugas en el sistema se obtendrá un ahorro energético de 14119.53 kWh y un ahorro monetario de \$2,313.68.

Luego de analizar el sistema de aire comprimido de la empresa, se han establecido los siguientes puntos como posibles puntos de mejora para la reducción de las fugas:

1. Designar personal de la planta para que identifiquen las fugas del sistema. Estos deben inspeccionar acoplamientos de los puntos de consumo con la tubería principal, uniones de la tubería principal, debido a la amplia red de tuberías con la que cuentan revisar que las válvulas se encuentren debidamente cerradas para aquellas tuberías que no se utilicen, además revisar estas mismas válvulas ya que se ha podido notar válvulas aparentemente dañadas o muy antiguas. La detección de fugas se puede realizar con el método que se desee pero por costos se recomienda el método de las burbujas de jabón.
2. Revisar uno a uno los actuadores, además de sus respectivas reguladoras de presión y los filtros instalados estos. Debido al ambiente lleno de particulado en suspensión en el que se encuentran la mayoría de estas se encuentran demasiado sucios y podrían estar arrastrando partículas hacía el interior del

sistema que posteriormente pueden dañar tuberías, acoplamientos, juntas y hasta los mismos actuadores aumentando de esta manera las fugas.

3. Una vez establecidas las fugas de aire comprimido del sistema se deberán reparar estas. Personal técnico profesional de la empresa debe capacitar a sus trabajadores para que realice un correcto trabajo asegurándose que se esté logrando un correcto sellado de las uniones, acoplamientos, tubos, etcétera.
4. Al contar con personal dedicado al mantenimiento predictivo se deben crear rutas de inspección semanales en áreas como la sala de compresores, la fábrica, molinos, calderas. En dichas inspecciones se deberá revisar aquellos puntos que se han establecido como propensos a fugas, además de proporcionar limpieza a actuadores y sus respectivas reguladoras de presión y filtros para asegurar que no existan infiltraciones de bagazo o polvo en ellos.
5. Transmitir a los trabajadores la importancia de la reducción de fugas en el sistema. Al ser ellos quienes se encuentran más en contacto con el sistema de aire comprimido su aporte en la detección de fugas es muy importante, una vez detectada deben comunicar al personal técnico profesional que se encargará de la reparación de estas.

REDUCCIÓN EN LA PRESIÓN DE DESCARGA

Los resultados de la aplicación de la medida reducción de la presión de descarga del compresor para el mes de noviembre y la tabla resumen para los demás meses se muestran a continuación:

$$E_{RP} = A * FL * FC * H$$

$$FC = \frac{kWh \text{ consumidos por el compresor}}{kWh \text{ totales}} = \frac{96941}{99009.24} = 0.979$$

$$A = \frac{8 - 7}{8} = 0.125$$

$$E_{RP-Punta} = 0.125 * 37.285 * 0.979 * 32 = 146.02 \text{ kWh}$$

$$E_{RP-Resto} = 0.125 * 37.285 * 0.979 * 100 = 456.32 \text{ kWh}$$

$$E_{RP-Valle} = 0.125 * 37.285 * 0.979 * 45 = 205.35 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro energético} = 146.02 + 456.32 + 205.35 = 807.69 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro monetario}_{Punta} = 146.02 * 0.167472 = \$ 24.45$$

$$\text{Ahorro monetario}_{Resto} = 456.32 * 0.155564 = \$ 70.99$$

$$\text{Ahorro monetario}_{Valle} = 205.35 * 0.179421 = \$ 36.84$$

$$\text{Ahorro monetario} = \$24.45 + \$70.99 + \$36.84 = \$132.28$$

TABLA 53. AHORRO ENERGÉTICO - REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN.

AHORROS TOTALES	
Mes	Ahorro total (kWh)
Noviembre	807.6983493
Diciembre	2464.164456
Enero	2423.095048
Febrero	2523.486933
Marzo	2815.536054
Abril	830.5146869
TOTAL	11864.49553

TABLA 54. AHORRO ENERGÉTICO - REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN

AHORRO MONETARIO	
Ahorro en punta	\$ 409.62
Ahorro en resto	\$ 1,013.00
Ahorro en valle	\$ 521.54
Total	\$ 1,944.16

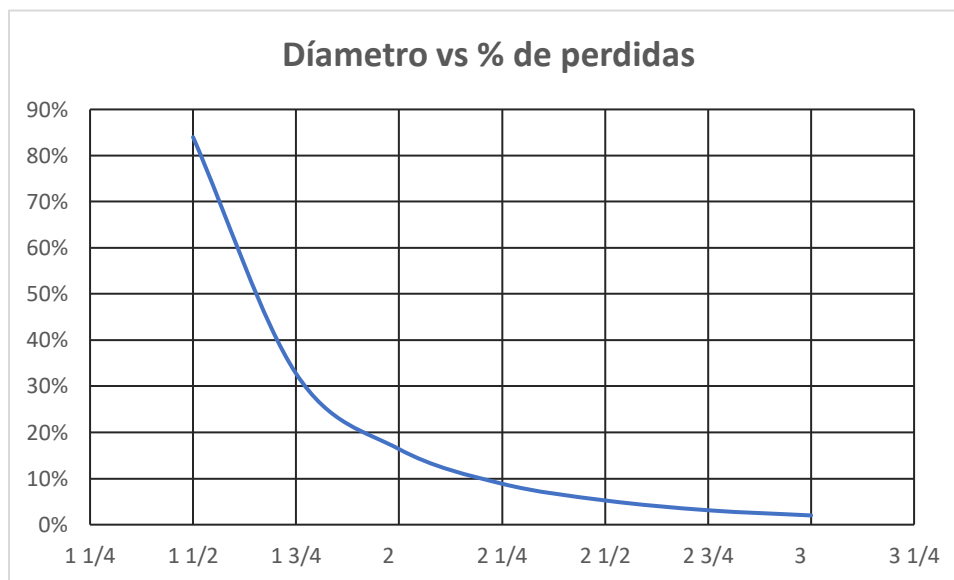
Aplicando la medida de eficiencia energética de reducción de fugas en el sistema se obtendrá un ahorro energético de 11864.50 kWh y un ahorro monetario de \$1944.16.

Analizado y realizando pruebas se obtuvieron resultados positivos al reducir la presión en 1 bar. Por su parte se analizaron algunos puntos para determinar si es factible reducir aún más la caída de presión, a continuación se describen:

- Cambiar de ubicación de la sala de compresores. La sala de compresores se encuentra considerablemente alejada de la mayoría de usuarios finales por lo que son necesarios largos tramos de tuberías de distribución que trae consigo altas pérdidas primarias. Se analizaron algunas posibles localizaciones pero presentaban algunos inconvenientes como ambiente lleno de particulado de bagazo por lo que la aspiración de aire limpio se complicaría y habría necesidad de cambiar filtros de manera muy frecuente. Otro de los inconvenientes era la temperatura del aire de admisión ya que las posibles localizaciones no tienen una toma de aire lo suficientemente alejada de la planta. Por lo que esta opción queda descartada.
- Cambiar el diámetro de la tubería. Como se observa en el gráfico 8 un cambio de tubería de 2 a 2 ½” o de 2 a 3” no representa un cambio significativo en la

reducción de las pérdidas por lo que un cambio en la tubería no sería económicamente rentable para la empresa.

GRÁFICO 8. DIÁMETRO VS % DE PERDIDAS



- Cambiar el material de la tubería. Actualmente la red cuenta con tuberías de acero galvanizado debido a las condiciones extremas a las que se encuentran algunas partes de la red, estas pueden estar sometidas a altas temperaturas por la proximidad con algunos cuerpos calientes de la planta o a tuberías que transportan fluidos calientes. Por otra parte algunos tramos se encuentran al aire libre por lo que están expuestas a las condiciones climáticas. También como se mencionó anteriormente la red presenta largos tramos por lo que se necesita materiales que requieran la menor cantidad de apoyos. Por todo lo anterior la utilización de materiales como aluminio o PVC no es recomendado ya que podrían requerir mantenimiento de manera muy frecuente.

- Sustitución de filtros y secador. La empresa cuenta con un secador y filtros adecuados según los parámetros de presión y temperatura por lo que no es necesario cambiarlos. Una oportunidad de mejora para estos elementos sería la limpieza y adecuado mantenimiento para que se trabaje en óptimas condiciones. Por ejemplo limpiar la entrada de aire del secador, mantenerlo suficientemente limpio y libre de polvo, además de mantenerlo despejado. En el caso de los filtros programar rutinas de limpieza o sustituirlo llegada su vida útil.

Por lo que se concluye que se podrían producir mejoras para la reducción de la presión pero no representarían una mejora significativa. Por lo tanto la presión adecuada de seteo del compresor es de 7 bares.

REDUCCIÓN EN LA TEMPERATURA DE LA TOMA DE AIRE

Los resultados de la aplicación de la medida reducción de la temperatura de la toma de aire para el mes de noviembre y la tabla resumen para los demás meses se muestra a continuación:

$$ES_{A/T} = FL * H * W_R$$

$$W_R = \frac{T_0 - T_1}{T_1 + 273} = \frac{37 - 33}{33 + 273} = 0.01307$$

$$ES_{A/T-Punta} = 37.285 * 32 * 0.01307 = 15.59 \text{ kWh}$$

$$ES_{A/T-Resto} = 37.285 * 100 * 0.01307 = 48.73 \text{ kWh}$$

$$ES_{A/T-Valle} = 37.285 * 45 * 0.01307 = 21.94 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro energético} = 15.59 + 48.73 + 21.94 = 86.26 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro monetario}_{\text{Punta}} = 15.59 * 0.167472 = \$ 2.61$$

$$\text{Ahorro monetario}_{\text{Resto}} = 48.73 * 0.155564 = \$ 7.58$$

$$\text{Ahorro monetario}_{\text{Valle}} = 21.94 * 0.179421 = \$ 3.94$$

$$\text{Ahorro monetario} = \$2.61 + \$7.58 + \$3.94 = \$14.13$$

TABLA 55. AHORRO ENERGÉTICO - REDUCCIÓN TEMPERATURA

AHORROS TOTALES	
Mes	Ahorro (kWh)
Noviembre	86.2672549
Diciembre	263.1882353
Enero	258.8017647
Febrero	269.5242484
Marzo	300.7169281
Abril	88.70418301
TOTAL	1267.202614

TABLA 56. AHORRO MONETARIO - REDUCCIÓN DE TEMPERATURA

AHORRO MONETARIO	
Ahorro en punta	\$ 43.75
Ahorro en resto	\$ 108.19
Ahorro en valle	\$ 55.70
Total	\$ 207.65

Para la puesta en marcha de esta mejora de eficiencia energética es necesario analizar la sala de compresores, los posibles puntos de toma de aire y la configuración que mejor se acomoda para la situación de esta. Actualmente se cuenta con una configuración de toma de aire desde el interior de la sala de compresores y escape hacia el interior de la misma sala.

Como la temperatura del exterior de la sala de compresores es de 33°C y la sala de compresores se encuentra expuesta casi de manera directa con el exterior únicamente separadas por una malla ciclón (Ver figura 45). La configuración más adecuada para disminuir la temperatura de la sala de compresores es el escape hacia el exterior y una admisión del interior (Ver figura 46). Para esta nueva configuración se propone instalar un ducto para el aire de escape que se dirija hacia un área despejada para que no genere ningún inconveniente en este caso la posición más adecuada es colocar la hacia el área de envasado (Ver figura 47).



Figura 45. Sala de compresores

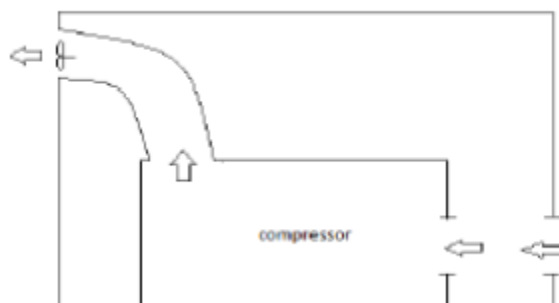


Figura 46. Configuración recomendada



Figura 47. Posible posición de escape de aire

POTENCIALES USOS INADECUADOS DEL AIRE COMPRIMIDO

Luego de inspeccionar la empresa durante la ejecución de su proceso productivo se han podido establecer algunos usos inadecuados del aire comprimido que se presentan a continuación:

- Utilización de bombas de diafragma. Las aplicaciones comunes de este tipo de bombas es para el transporte de fluidos con alto índice de sólidos o fluidos tóxicos o contaminantes. Dentro de la empresa se utilizan para el bombeo de floculante para el lavado de agua con ceniza. El floculante no es un material tóxico por lo que fácilmente se podría utilizar bombas hidráulicas. Consultando la bodega de equipos se comprobó la existencia de motores, cajas reductoras y bombas que podrían utilizarse en esta aplicación con aproximadamente 20 gpm como caudal y un motor de 2 Hp.



Figura 48. Bombas de diafragma para floculante

- Limpieza de personal. Este es uno de los usos inadecuados más comunes dentro del aire comprimido. Dentro de la empresa es muy frecuente ver a los trabajadores limpiándose con el aire comprimido ya que están expuestos a ambientes con mucho bagazo, polvo y basura proveniente de la caña en suspensión en el aire. Debido a la presión a la que se encuentra el sistema esto podría resultar peligroso para ellos porque podrían incrustarse en la piel pequeños trozos de residuos. Una opción viable sería brindar cepillos para que puedan retirarse de piel y ropa estos residuos existentes, también proporcionar espacios donde los trabajadores se vean menos expuestos.

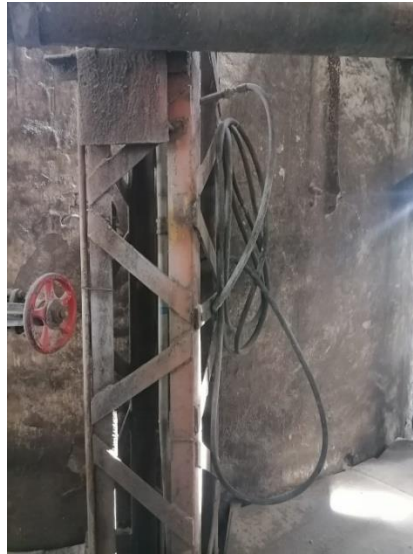


Figura 49. Salida de aire comprimido - Limpieza de personal

- Limpieza de maquinaria y equipos. Actualmente en la empresa hay áreas en las que el bagazo o la basura residual de la caña cubren algunas cajas reductoras, motores, tuberías, pasillos y escaleras. También 2 de los payloader con los que se cuentan suelen cubrirse con mucho bagazo. Erróneamente se utiliza el aire comprimido para limpiar todas estas superficies, pudiendo ocasionar alguna lesión en las personas que se encuentran alrededor debido a que estas partículas son lanzadas con una gran velocidad al ser removidas. En lugar de utilizar el aire comprimido se debe instruir al personal encargado de la limpieza de estos equipos que debe realizarse con cepillos o escobas, para que se retiren de manera ordenada y puedan depositarse en el lugar que corresponde. En el caso de los payloader por su constante utilización se pueden programar lavados con agua al menos una vez por cada turno para evitar infiltraciones en el sistema hidráulico o la obstrucción de los filtros.



Figura 50. Salida de aire comprimido - Limpieza de equipos

- Refrigeración de equipos. Dentro del proceso productivo existen algunas bombas que son utilizadas para diversos fines pero que por momentos presentan un calentamiento excesivo por lo que los trabajadores deciden utilizar una salida de aire comprimido cercana para enfriar dichas bombas. Se recomienda que el personal técnico profesional instruya a los trabajadores en que esta práctica no es adecuada debido a que existen métodos muchos más eficientes. En este caso algunas bombas cuentan con la posibilidad de realizar la refrigeración mediante agua por lo que basta con proveer el agua hacia estas bombas. En el caso de aquellas que no cuenten con esto se pueden utilizar ventiladores eléctricos durante ciertos periodos de tiempo para que refrigeren estos equipos.



Figura 51. Refrigeración de bomba

Como recomendación final se debe instruir al personal en la correcta utilización del aire comprimido, estableciendo las acciones que se pueden realizar con esto y aquellos que no.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Para la puesta en marcha de esta oportunidad de mejora es necesario apoyarse de la tabla 57 donde se muestran los resultados de la inspección realizada.

TABLA 57. GUÍA DE INSPECCIÓN PARA SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.

FUENTE: Elaboración propia.

GUÍA DE INSPECCIÓN	
Compresor	
Inspección	Condición
Limpieza superficial del compresor	Sucio
Estado del filtro de entrada de aire comprimido	Bueno
Nivel de aceite del compresor	Adecuado
Estado del aceite del compresor	Adecuado
Estado del filtro de aceite	Adecuado
Estado de la transmisión del compresor	Adecuado
Fugas en el sistema	No detectadas

Limpieza del intercambiador de calor	Adecuado
Temperaturas de operación adecuados	Adecuado
Limpieza del motor eléctrico	Adecuado
Limpieza de la sala de compresores	Sucio
Secadores y enfriadores	
Inspección	Condición
Estado del secador	Bueno
Limpieza superficial del secador	Sucio
Limpieza del filtro del secador	Sucio
Estado del enfriador	No aplica
Limpieza del filtro del enfriador por aire	No aplica
Fugas en el enfriador por agua	No aplica
Tanques de almacenamiento	
Inspección	Condición
Estado del tanque de almacenamiento	Bueno
Fugas en el tanque de almacenamiento	No detectadas
Estado de la purga de agua	Adecuado
Filtros y trampas	
Inspección	Condición
Estado de los filtros	Bueno
Limpieza superficial del filtro	Sucio
Estado de las trampas	No existen
Trampa parcialmente abierta o cerrada	No aplica
Fugas en filtros	No detectadas
Fugas en trampas	No aplica
Unidad de mantenimiento FRL	
Inspección	Condición
Cuenta con unidad FRL	No
Estado de la unidad FRL	No aplica
Nivel de aceite de lubricador	No aplica
Fugas en la unidad FRL	No aplica

Una vez realizada la rutina de inspección por el sistema de aire comprimido se lograron establecer las siguientes oportunidades de mejora:

1. Mejora de la limpieza de la sala de compresores. La sala de compresores normalmente se encuentra llena de polvo debido a que está expuesta al aire libre por una de sus paredes. El polvo puede ser arrastrado hacia el interior del compresor cubriendo algunas superficies de intercambio de calor o bien

puede llegar hasta el filtro de entrada de aire lo que provocará una menor cantidad de aire entrante, un mantenimiento más frecuente o una sustitución del filtro de manera regular. La persona encargada de la limpieza de la zona de la tolva puede asignarse para la limpieza de la sala de compresores.

2. Limpieza de los equipos que conforman el sistema de aire comprimido. Se ha notado que el compresor, secador, filtros, reguladoras de presión los actuadores se encuentran cubiertos de polvo o bagazo, al ser partículas tan pequeñas pueden infiltrarse en estos dispositivos provocando obstrucciones, daños en sellos y empaquetaduras que posteriormente se traducen en fugas y caídas de presión. Además el mantenimiento se hará de manera más frecuente que se traduce en tiempos sin producción debido a la importancia de estos en el proceso productivo.
3. Instalación de trampas de condensado y filtros en los puntos de consumo. Una de las fallas más comunes en los actuadores neumáticos es la cristalización o picadura de los empaques de estos. Las trampas de condensado se deben instalar al final de tramos largos, con esto se conseguirá evitar el arrastre de agua hacia los usuarios finales. También se puede implementar la técnica de cuello de ganso que de igual manera reduciría el arrastre de agua y por último se pueden instalar filtros que eliminen los fluidos para tener aire seco y limpio en los usuarios finales.
4. Mantenimiento predictivo y correctivo. Durante la época productiva se deben establecer rutas de inspección enfocadas en el sistema de aire comprimido. Es necesario evaluar de manera frecuente el estado de las entradas de aire,

filtros, juntas, uniones, entre otros, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema logrando así un ahorro energético extra y aumentar la vida útil de todos los equipos. Por su parte el mantenimiento correctivo debe realizarse lo más próximo a la detección de la falla para que las pérdidas sean menores. En la etapa de reparación se deben gestionar el mantenimiento de todo el sistema, revisando aquellas válvulas, accesorios y usuarios finales con el objetivo de sustituir o reparar aquello que presente una pérdida para este.

CONTABILIDAD ENERGÉTICA APLICANDO LAS MEJORAS DE E.E.

Una vez aplicadas las mejoras de eficiencia energética es necesario evaluar la situación energética del sistema de aire comprimido frente a la situación actual, esto se logra a través de índice de consumo diario de energía, la línea base y el índice de aire comprimido para cada una de las situaciones, a continuación se muestran:

TABLA 58. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA APLICADAS LAS MEJORAS

ANÁLISIS DE FACTURAS DE EMPRESA			ANÁLISIS DE APLICACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA				
Mes	Consumo (kWh)	Consumo diario	Ahorro con reducción de fugas (kWh)	Ahorro con reducción de la presión (kWh)	Ahorro con reducción de la temperatura (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo diario
Noviembre	6747.77	217.67	961.21	807.70	86.27	4892.58	157.83
Diciembre	20585.04	735.18	2932.52	2464.16	263.19	14925.17	533.04
Enero	20082.62	647.83	2883.64	2423.10	258.80	14517.07	468.29
Febrero	21109.92	703.66	3003.12	2523.49	269.52	15313.79	510.46
Marzo	23549.72	759.67	3350.67	2815.54	300.72	17082.79	551.06
Abril	6934.19	231.14	988.37	830.51	88.70	5026.60	167.55
Total	99009.24		14119.53	11864.50	1267.20	71758.01	

GRÁFICO 10. LÍNEA BASE APLICADAS LAS MEJORAS

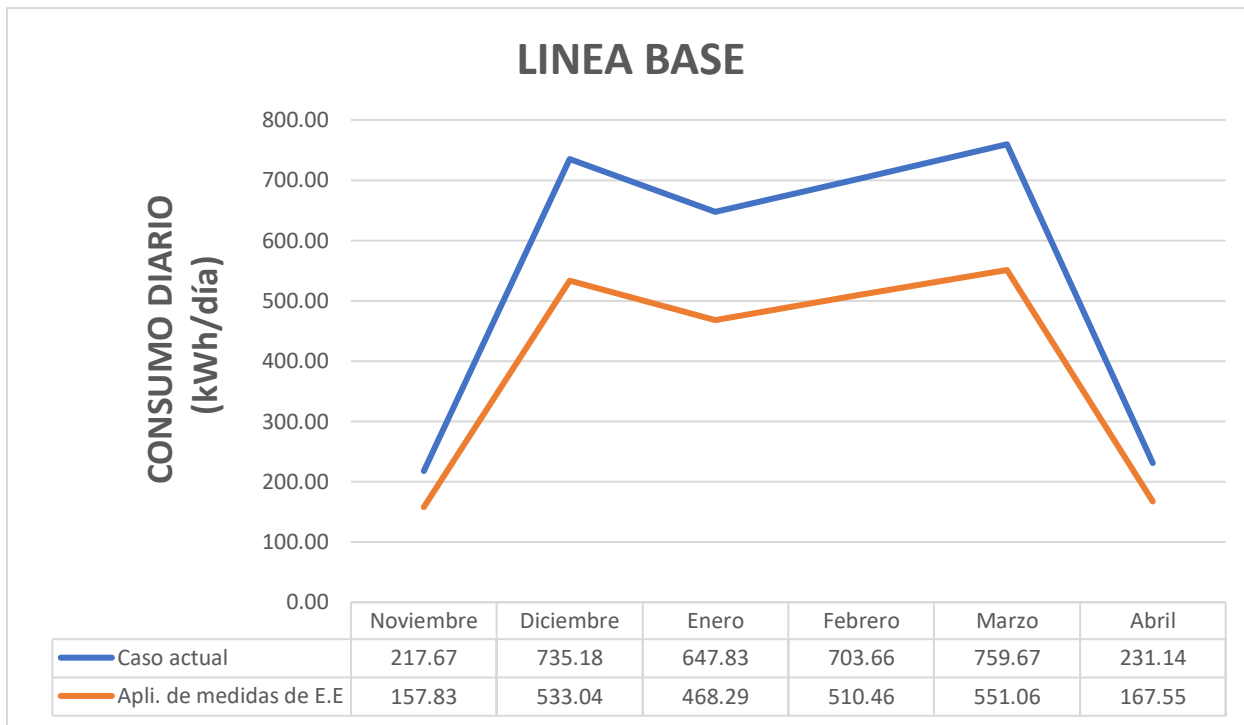


GRÁFICO 9. IAC APLICADAS LAS MEJORAS

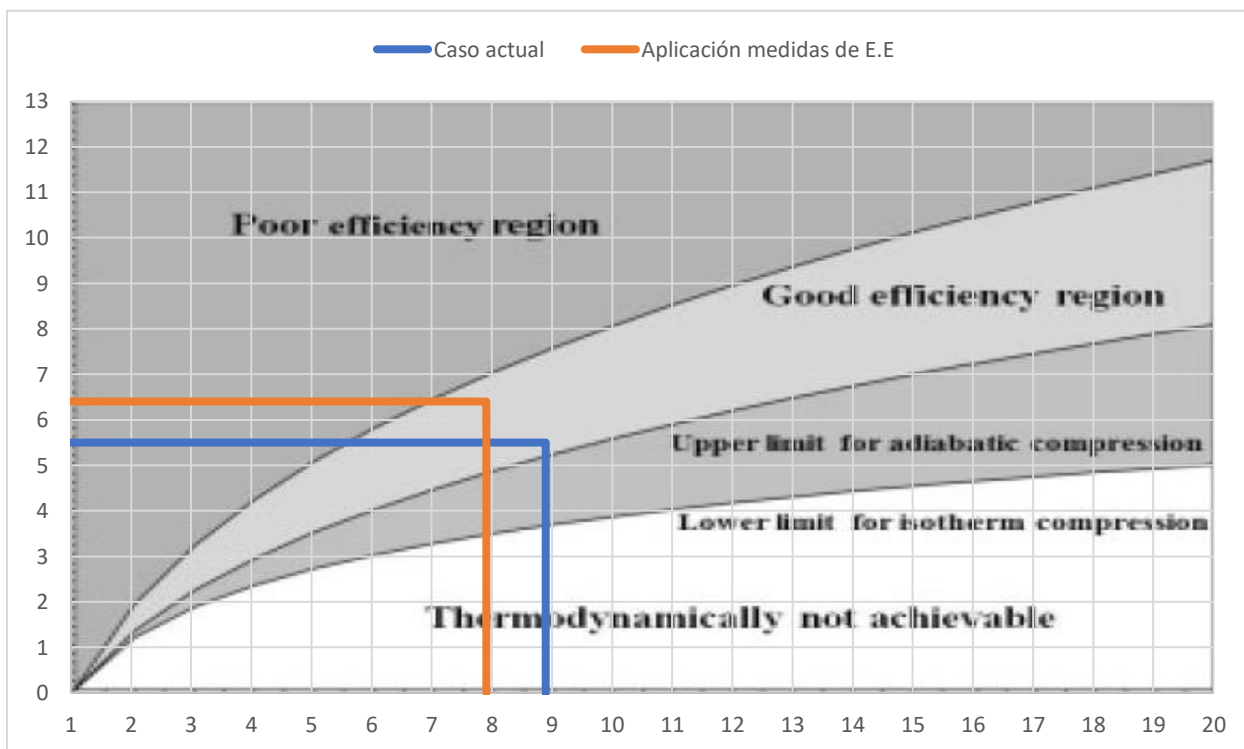


TABLA 59. AHORRO MONETARIO APLICADAS LAS MEJORAS

AHORRO MONETARIO ANUAL	
Costo actual	\$ 19,645.8
Ahorro por reducción de fugas	\$ 2,313.7
Ahorro por reducción de la presión	\$ 1,944.2
Ahorro por reducción de la temperatura	\$ 207.6
Costo luego de aplicar las medidas de E.E	\$ 15180.3

De la línea base se puede concluir que al aplicar las oportunidades de mejora se obtendrán resultados favorables en la reducción del consumo de energía, ya que la nueva línea se encuentra en todo momento bajo la línea de base actual. El ahorro energético esperado será de 27,251.23 kWh que representa un ahorro del 27.52% en el consumo de energía. Por otro lado el ahorro monetario que se obtendrá por la aplicación de las medidas será de \$4465.5. En cuanto al índice de aire comprimido se puede observar en el gráfico 10 que el compresor se encuentra trabajando en la región buena eficiencia.

ANÁLISIS AMBIENTAL

Todo proyecto de eficiencia energética busca consigo una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero. Para este proyecto se tendrá un ahorro de emisiones de CO_{2eq} de 5.30 toneladas al año gracias al ahorro de 27,251.23 kWh. Este ahorro a su vez puede ser representado a partir de las siguientes equivalencias:



Figura 52. Equivalencia de gases de efecto invernadero

CONCLUSIONES

- El porcentaje de reducción del consumo de energía es del 27.52%, cumpliendo así el objetivo establecido al inicio del proyecto.
- El ahorro energético esperado será de 27251.23 kWh, siempre y cuando la puesta en marcha de las medidas de mejoramiento de la eficiencia energética sean aplicadas de la manera en la que se plantea en la metodología para uno de los casos.

- El ahorro monetario será de \$4465.5 obtenido sin haber generado una inversión en el proyecto, únicamente se están utilizando los activos con los que cuenta la empresa
- El ahorro en las emisiones de gases de efecto invernadero es de 5.30 ton de CO_{2eq} con lo que se logra una contribución hacia la mitigación del cambio climático.

RECOMENDACIONES

- La empresa no cuenta con planos de tuberías y dispositivos consumidores de aire comprimido, estos son necesarios para una futuro estudio o proyecto enfocado en este sistema. Realizarlos tendrá beneficios como mayor control en el uso de aire comprimido, identificar tuberías que se encuentran fuera del sistema, entre otras.
- En el periodo de mantenimiento revisar las tuberías para observar si estas presentan incrustaciones que aumenten las pérdidas de presión debido a que no se tiene registro del último mantenimiento de estas.
- El personal técnico profesional debería ser capacitado en sistemas de aire comprimido para que sean ellos mismos quienes puedan brindarle el mantenimiento adecuado.
- Se puede notar dentro de la planta muchos puntos donde el aire comprimido no se utiliza en las aplicaciones debidas por lo que se deberá instruir a los trabajadores en su correcto uso, transmitiendo la importancia de su ahorro.

CONCLUSIONES

Los sistemas de aire comprimido dentro de la industria salvadoreña representa una de las mayores fuentes de energía, desde pequeñas empresas como un taller automotriz hasta grandes empresas que fabrican productos para comercializar a nivel nacional e internacional utilizan el aire comprimido dentro de sus procesos. Los sistemas de aire comprimido también tienen un papel muy importante dentro de la automatización que es uno de los temas que mayor fuerza están tomando recientemente por lo que el estudio en la mejora de la eficiencia energética resulta muy beneficioso.

- I. **Los sistemas de aire comprimido.** Son indispensable en muchas de las empresas, además de ser una de las principales fuentes de consumo de energía por lo que la aplicación de la metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética puede traer consigo grandes beneficios a la empresa, desde la reducción de los costos de energía, ser una empresa amigable con el medio e incluso ser más competente dentro de su rubro.
- II. **Facilidad de aplicación.** La metodología desarrollada resulta ser de fácil aplicación para todos los sistemas de aire comprimido debido a su enfoque en la eficiencia energética por gestión y, además por la facilidad y sencillez de la toma de datos que se requieren. Aunque existan una amplia gama de medidas de eficiencia energéticas las especificadas en la metodología son las que más fácilmente se pueden aplicar, debido a que no se requieren grandes inversiones o modificaciones en el sistema, sino más bien del control y mantenimiento del ya existente.

- III. Eficiencia energética en el país.** En El Salvador aunque exista ciertos programas para motivar el uso eficiente de la energía, es necesario contar con una ley que defina los parámetros más importantes en el uso de la energía, así como mayores incentivos de los ya existentes. La preparación académica en esta especialidad puede traer grandes beneficios al país, ya que en muchas empresas la energía no se está utilizando de la manera más eficiente.
- IV. Hoja de cálculo.** Resulta una herramienta útil para la implementación de la metodología, todos los cálculos necesarios para cada una de las medidas de eficiencia energética se generan de manera automática con la debida entrada de datos recolectados.
- V. Medio ambiente.** La situación ambiental actual se encuentra en un momento crítico y es trabajo de todos cooperar para mitigar el cambio climático, todas las industrias tienen posibles mejoras dentro de sus sistemas que pueden contribuir en el ahorro de energía que a su vez reducen su impacto ambiental.

RECOMENDACIONES

- I. Las medidas de eficiencia energética presentadas en este informe pueden ser aplicadas en el cualquier parte del mundo, pero las fuentes de financiamiento son únicamente aplicables para El Salvador ya que están determinadas a partir su mercado de. En caso de ser aplicada para otros países indagar en su mercado.
- II. Si bien en la metodología se presentan ecuaciones para determinar los posibles ahorros que brindaría cada una de las medidas, estas son aproximaciones y en la mayoría de los casos arrojarán un porcentaje de error pequeño al momento de ser implementadas. Para que se obtenga resultados cercanos a los brindados por las ecuaciones se deberá seguir un control estrictión en la acciones de mejora.
- III. El monitoreo de las variables de consumo de aire comprimido, potencia de los equipos, porcentaje de fugas, presiones de trabajo, temperatura de la admisión de aire es parte fundamental del éxito de la aplicación de la metodología, se deberá asegurar que las variables se encuentren dentro de rangos aceptables para que el ahorro energético sea lo más cercano a lo pronosticado.
- IV. Aunque la metodología sea de fácil aplicación, apoyarse de un experto en el tema traerá consigo mejores resultados. También es muy importante capacitar a personal propio para que sean ellos quienes se encarguen del posterior monitoreo.
- V. La metodología planteada en este trabajo de graduación no contempla el mejoramiento de la eficiencia energética por tecnología, pero es bien sabido que esta trae consigo mayores beneficios cuando es aplicada aunque tenga asociado

un costo elevado. Las nuevas tecnologías buscan que los compresores trabajen de la manera más eficiente, algunas de estas tecnologías son:

1. Control de la velocidad de los compresores (VSD). VSD ha sido el desarrollo en términos de eficiencia energética más importante de los últimos años en el campo de los compresores. Los compresores VSD no son adecuados para todas las aplicaciones, si trabajan con un nivel de carga muy elevado puede resultar que sus costos de operación sean mayores que los de un compresor de velocidad fija. Por lo antes expuesto, los compresores VSD se implementan con mayor frecuencia en aquellas instalaciones donde se requiere controlar las variaciones de la demanda.
 2. Sistemas de control en instalaciones de aire comprimido. Un sistema de control tiene la finalidad de conseguir, mediante la monitorización de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida del sistema de aire comprimido como por ejemplo presión, temperatura y caudal, de modo que estas alcancen unos valores establecidos. La implementación del sistema de control puede mejorar la eficiencia de las operaciones de aire comprimido en una planta y evitar costes innecesarios de electricidad y mantenimiento en sus diferentes etapas, como producción, tratamiento y distribución.
- VI. Hay que tener en cuenta que el mantenimiento dentro de los sistemas de aire comprimido es una de las áreas que mayor impacto tiene dentro de la eficiencia energética, un sistema bien mantenido permitirá un mejor uso de la energía. Actualmente existen diferentes técnicas de mantenimiento que tratan de

relacionar todos las áreas de la empresa, como por ejemplo el Mantenimiento Productivo Total (TPM). El TPM interpretado como “La conservación de los medios de producción por todos” es una técnica que promueve un trabajo donde estén unidos siempre, según los mismos objetivos, el hombre, la máquina y la empresa. Se puede aplicar la técnica del TPM para lograr la máxima eficiencia del sistema de aire comprimido, creando mecanismos para prevenir las diversas pérdidas, obteniendo el mínimo de fallas que a su vez tiene como objetivo disminuir el costo del ciclo de operación del sistema, para esto se debe comprometer a todos los departamentos, desde producción hasta mantenimiento. Los pilares del TPM que podrían mejorar la eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido son:

1. Pilar 1: Establecer mantenimientos planificados a todo el sistema de aire comprimido.
2. Pilar 2: Mejorar de manera individual a los usuarios finales.
3. Pilar 3: Educar y capacitar a todo el personal, desde los directores hasta los operarios.

Con lo anterior se tendrá una reducción de tiempos de paro del proceso por fallos, errores o avería, o tiempos de trabajo en vacío de los compresores, las anteriores forman parte de las seis grandes pérdidas establecidas por el TPM.

GLOSARIO

Sostenible: Se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación de estos.

Eficiencia energética: Puede definirse como la optimización del consumo energético para alcanzar unos niveles determinados de confort y de servicio.

Gestión: operaciones, acciones o trámites que se realizar para administrar un recurso.

Acciones de mejora: son todas aquellas actividades que se realizan dentro de la instalación con el objetivo de producir un cambio positivo en los procesos productivos del sistema.

Oportunidades de mejora: son los puntos identificados a través de la medición y observación dentro de nuestro sistema que podrían ser sujetos a acciones de mejora.

Oportunidades de ahorro: Puntos identificados a través de medición y observación mediante los cuales es posible obtener un ahorro de energía al gestionar correctamente el desempeño y utilización de sus recursos.

Sistema de gestión energética: Un Sistema de Gestión Energética (SGE) es el conjunto de elementos de una organización, que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos y para alcanzar objetivos determinados.

Emisiones de CO₂: Referidas a las emisiones equivalentes de dióxido de carbono.

Indicadores: referencias utilizadas dentro del mecanismo de gestión para interrelacionar variables de modo que la información pueda ser interpretada y así establecer las medidas que deben aplicarse para modificar sus valores.

Consumo energético: Registro de unidades energéticas utilizadas en determinado período de tiempo y para la realización de determinadas operaciones del sistema.

Gases de efecto invernadero: Son todos aquellos gases residentes de la atmósfera y que generan el efecto invernadero absorbiendo y emitiendo radiación infrarroja, provocando incremento de la temperatura de la superficie de la Tierra.

Auditoría energética: Es una inspección y análisis de los flujos de energía en una instalación con el objetivo de evaluar la eficiencia energética de la instalación que está siendo objeto de auditoría. Normalmente se lleva a cabo para buscar oportunidades de reducir la cantidad de energía utilizada sin afectar negativamente la comodidad o la producción.

REFERENCIAS

- [1] Junta de Castilla y León (2009). Manual Técnico de Aire Comprimido. Obtenido de: <https://docplayer.es/14200603-Introduccion-manual-tecnico-aire-comprimido.html>
- [2] Naciones Unidas (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [3] Nordelo, A., Rodríguez, M., Yanes, J. & Teyra, M. (2005). La Gestión Energética: Una alternativa eficaz para mejorar la competitividad empresarial. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/1470/147019387005.pdf>
- [4] Cañizares, G., Rivero, M., Pérez, R. & González, E. (2013). La gestión energética y su impacto en el sector industrial de la provincia de Villa Clara, Cuba. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543781002.pdf>
- [5] Herrera, B., Ortega, C., Díaz, J, Sánchez, B. & García, A. (2020). Energy Savings Measures in Compressed Air Systems. Obtenido de: <https://pdfs.semanticscholar.org/e07b/ee9ac9b12dd9614944c1bee704ca7728d916.pdf>
- [6] NOBBOT (2017). ¿Sabes cuánto CO₂ produces?. Obtenido de: <https://www.nobbot.com/personas/cuanto-co2-produces/>
- [7] LowCarbonPower (2022). Comprender la energía baja en carbono en El Salvador por medio de datos. Obtenido de: https://lowcarbonpower.org/es/region/El_Salvador

BIBLIOGRAFIA

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2022). Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero. Obtenido de: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero>

Banco Internacional de Desarrollo (2012). Guía A. Programas de financiamiento de Eficiencia Energética. Obtenido de: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Gu%C3%ADa-A-Programas-de-financiamiento-de-eficiencia-energ%C3%A9tica-Conceptos-b%C3%A1sicos.pdf>

Banco Internacional de Desarrollo (2020). Los mercados capitales pueden desempeñar un papel importante para impulsar inversiones en infraestructura sostenible. Obtenido de: <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/los-mercados-de-capitales-pueden-desempenar-un-papel-importante-para-impulsar-inversiones-en-infraestructura-sostenible/>

Catorce6 (2020). Los océanos, cada vez más cálidos. Obtenido de: <https://www.catorce6.com/investigacion/18746-los-oceanos-cada-vez-mas-calidos>

Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (2020). La eficiencia energética y su contribución con el medio ambiente. Obtenido de: <https://cceeaa.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/la-eficiencia-energetica-y-su-contribucion-con-el-medio-ambiente>

Centro Nacional de Información de la Calidad (2012). Los sistemas de gestión energética. Obtenido de: https://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=88f8ee2e-2656-4e02-aeaa-d081b96f59bd&groupId=10128

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2015). Acerca del desarrollo sostenible. Obtenido de: <https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible#:~:text=Su%20informe%2C%20%E2%80%9CNuestro%20Futuro%20Com%C3%BAn,las%20demandas%20por%20una%20agenda>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2016). Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de El Salvador. Obtenido de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40643/1/S1600944_es.pdf

Consejo Nacional de Energía (2012). Guía práctica para la formulación y ejecución de proyectos de eficiencia energética. Obtenido de: <https://www.sica.inti/download/?89439>

Córdoba, Felipe (2016). Ahorro de energía en el sistema de aire comprimido, siguiendo el programa Lean Energy de Baxter productos médicos. Obtenido de: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6565/Ahorro_energia_sistema_aire_comprimido.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Elixir Renewable Energy (2016). Development of Methodology for Design of Energy Efficient Compressed Air System with Case Study. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/353255933_Energy_savings_in_compressed_air_systems_a_case_of_study

Empresas HSBC (2019). Importancia del financiamiento para empresas en crecimiento. Obtenido de: empresas.hsbc.com.mx/es-mx/insights/growing-my-business/importancia-del-financiamiento-para-empresas-en-crecimiento

Energy Efficiency and Renewable Energy (2015). Improving Compressed Air System Performance. Obtenido de: https://www.compressedairchallenge.org/data/sites/1/media/library/sourcebook/Improving_Compressed_Air-Sourcebook.pdf

Junta de Castilla y León (2009). Manual Técnico de aire comprimido. Obtenido de: <https://docplayer.es/14200603-Introduccion-manual-tecnico-aire-comprimido.html>

Kaeser Compresores (2019). Volumen adecuado del tanque de almacenamiento para garantizar el tiempo de servicio estimado de las unidades de compresión. Obtenido de: <https://airecomprimidokaeser.com/index.php/2016/02/15/volumen-adecuado-del-tanque-de-almacenamiento/>

Kaeser Talk (2021). Como determinar el consumo de aire comprimido. Obtenido de: <https://kaesertalk.com.ar/2021/02/03/como-determinar-el-consumo-de-aire-comprimido/>

Naciones Unidas (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Paredes, Leonel (2010). Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero. Obtenido de: <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

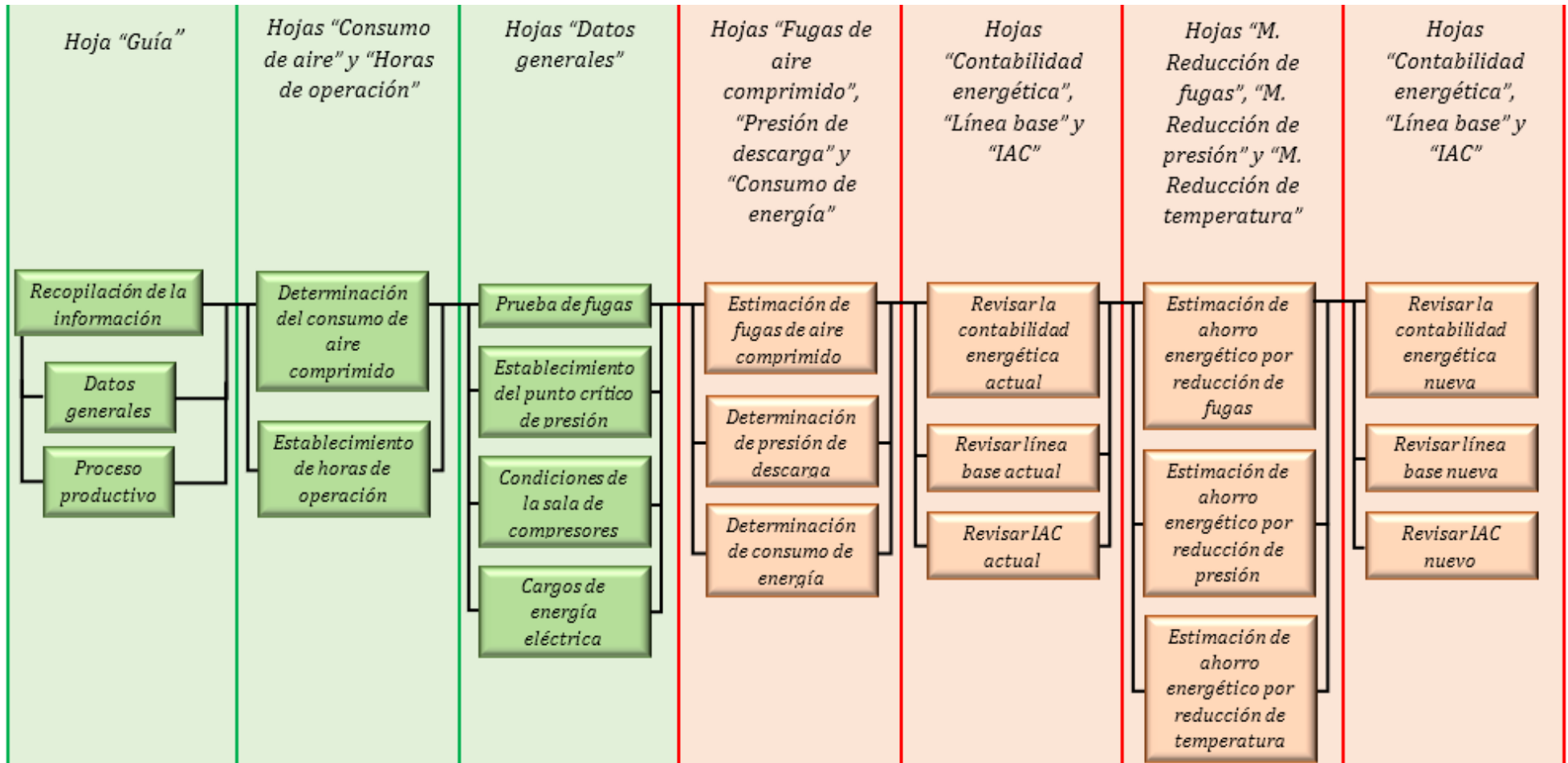
ANEXOS

ANEXO A. CONSUMOS DE AIRE COMPRIMIDO

Herramienta	CFM	LPM	PSI	Kg/cm ²
Aspiradora de polvo	8	226.56	175	12.3025
Atornillador de 1600 impactos	9	254.88	90	6.327
Atornillador de 800 impactos	25	708	90	6.327
Caladora neumática	4	113.28	90	6.327
Calibrador de anillos	2	56.64	120	8.436
Cortadora	10	283.2	90	6.327
Cortadora de chapa	4	113.28	90	6.327
Cortadora de disco	6	169.92	90	6.327
Cuadro de mando 1"	9	254.88	90	6.327
Cuadro de mando 1/2"	4	113.28	90	6.327
Cuadro de mando 3/4"	7	198.24	90	6.327
Cuadro de mando 3/8"	3	84.96	90	6.327
Desmontador de llantas	8	226.56	160	11.248
Destornillador de 1/4"	9	254.88	90	6.327
Elevador neumático 1.5 toneladas	3.5	99.12	160	11.248
Elevador neumático 10 toneladas	12	339.84	160	11.248
Elevador neumático 12 toneladas	18.5	523.92	16	1.1248
Elevador neumático 2 toneladas	5.25	148.68	160	11.248
Elevador neumático 4 toneladas	6	169.92	160	11.248
Elevador neumático 7 toneladas	9.5	269.04	160	11.248
Engrasadora 1 salida	6	169.92	100	7.03
Engrasadora 2 salidas	12	339.84	100	7.03
Esmeriladora a 14,000 RPM	21	594.72	90	6.327
Esmeriladora a 22,000 RPM	16.5	467.28	90	6.327
Esmeriladora a 30,000 RPM	12.6	356.832	90	6.327
Esmeriladora neumática mini	4	113.28	90	6.327
Filtro con mango	4	113.28	120	8.436
Grúa de gancho	3	84.96	160	11.248
Inflador	4	113.28	90	6.327
Laminadora	7	198.24	90	6.327
Lijadora Angular 12,000 RPM	24	679.68	90	6.327
Lijadora angular 20,000 RPM	40	1132.8	90	6.327
Lijadora Angular 6,000 RPM	12	339.84	90	6.327
Lijadora angular 8,000 RPM	16	453.12	90	6.327
Lijadora cuadrada	6	169.92	90	6.327

Herramienta	CFM	LPM	PSI	Kg/cm ²
Lijadora orbital	21	594.72	90	6.327
Lijadora Rectangular	6	169.92	90	6.327
Lijadora redonda 6"	5	141.6	90	6.327
Lijadora vertical	6	169.92	90	6.327
Llave de impacto 1"	23	651.36	90	6.327
Llave de impacto 1/2"	9	254.88	90	6.327
Llave de impacto 3/4"	17	481.44	90	6.327
Llave de impacto 3/8"	7	198.24	90	6.327
Llave de impacto 5/8"	15	424.8	90	6.327
Martillo neumático	7	198.24	9090	639.027
Matraca 3/8"	6	169.92	35	2.4605
Micro motor odontológico	2.1	59.472	90	6.327
Moto-tool (grinder)	9	254.88	90	6.327
Pistola Cíncel	4	113.28	90	6.327
Pistola de pulverización	3	84.96	110	7.733
Pistola para grasa	3	84.96	120	8.436
Pistola para pintar con tanque	9.5	269.04	70	4.921
Pistola para pintar de Alta presión	9	254.88	80	5.624
Pistola para pintar de baja presión	2	56.64	40	2.812
Pistola para sopletear	3	84.96	90	6.327
Probador de frenos	3.5	99.12	90	6.327
Probador de radiadores	2	56.64	90	6.327

ANEXO B. ESQUEMA DE LA GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN



ANEXO C. MODELO DE DECLARACIÓN JURADA

(lugar) , (día y fecha) de (mes) de (año).

Señores.

BANCO DE DESARROLLO DE EL SALVADOR.

Administrador del FONDO DE DESARROLLO ECONÓMICO.

Presente.

Estimados Señores:

Yo, (NOMBRE COMPLETO) mayor de edad, del domicilio de (MUNICIPIO), los autorizo para que conjunta o separadamente puedan:

Compartir mi información personal y crediticia, así como mi comportamiento crediticio, ya sea entre ambas Instituciones, otras Instituciones Financieras y Bancarias, proveedores o a través de entidades especializadas en la prestación de servicios de información.

Investigar mi comportamiento crediticio (y la información proporcionada por mi representada), sin que esto represente un compromiso para la aprobación de cualquier operación activa a mi cargo, tanto con las personas naturales como con entidades o personas jurídicas, incluyendo aquellas que recolectan, registran, procesan y distribuyen datos referentes al comportamiento crediticio de las personas.

Adicionar y actualizar cualquier dato proporcionado por mi (representada) (persona), incluyendo los de esta solicitud y cualquier otro dato que requieran en un futuro respecto de mi (representada) (persona), para los usos que estimen convenientes.

Atentamente,

Firma

DUI 00000000-0

NIT 0000 000000 000 0

ANEXO D. GUÍA DE ELABORACIÓN DE PROPUESTA DE CRÉDITO

DATOS GENERALES	
Información del solicitante	Nombre:
	DUI*:
	NIT:
	Teléfono:
	Dirección:
	Correo electrónico:
	Rubro:
	Tiempo de funcionamiento del negocio:
	Venta del último año:
	Número de empleados actuales:
Información del solicitante en caso de ser persona jurídica	Empresas relacionadas:
	Detalle de socios y su participación:
	Detalle de junta directiva o consejo de administración:
Representante legal	Nombre:
	Dirección según DUI:
	NIT:
	Teléfono:
	E-mail:
Ubicación del proyecto	
Inversión total	
Condiciones de financiamiento solicitado	Destino:
	Plazo solicitado:
	Forma de pago:
	Garantía propuesta:
Fecha de elaboración	

ANEXO E. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

1. **Descripción de la empresa y concepto del negocio.**
 - a. Breve descripción del negocio actual.
 - b. Productos y servicios que ofrece.
2. **Forma de administración:**
 - a. Si es persona jurídica listar los miembros de la Junta Directiva o Consejo de Administración, período de funciones, antecedentes empresariales, antecedentes crediticios. En caso de administrador único, describir período de funciones, antecedentes empresariales y antecedentes crediticios.
3. **Organización de la empresa (Organigrama).**
4. **Capacidad administrativa:** Listar los nombres de quienes ocupan puestos claves dentro de la empresa y su experiencia laboral.
5. **Plan de sucesión:** Definir la continuidad del negocio identificando posibles sucesores de la administración.
6. **Antecedentes operativos:** Resumen de la evolución de la producción y productividad.
7. **Situación financiera actual:** Incluir anexo copias de estados financieros adecuados (cuando aplique) de los últimos 2 ejercicios fiscales y el balance de comprobación que no excedan 3 meses de antigüedad.

ANEXO F. ANÁLISIS DEL ENTORNO

1. ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA Y MERCADO

- a. Principales competidores: Listar las principales empresas competidoras (a nivel local y en el mercado externo, si aplicará), detallando a referencia a ellas: condiciones comerciales que ofrecen a sus clientes, sistemas de distribución, precios de venta y la que consideran como ventaja competitiva.
- b. Proveedores de materias primas o servicios: Comentar quienes son los proveedores principales de materias primas críticas.
- c. Factores claves del éxito: Describir los factores claves que considera permitirá alcanzar los resultados esperados.

2. ANÁLISIS DEL MERCADO OBJETIVO

- a. Productos de la empresa: Detallar las diferentes líneas de productos y/o servicios que ofrecerá la empresa, características, calidad y forma de entrega a los clientes.
- b. Segmento objetivo: Definir el segmento de mercado donde se enfocan los esfuerzos de mercadeo y su justificación.
- c. Perfil del cliente: Describir las características de los clientes que comprarán sus productos como por ejemplo: edad, genero, ocupación, hábitos, nivel de ingresos, nivel de educación, entre otros.
- d. Precios de venta: Explicar de forma breve, su posicionamiento en relación con los principales productos con los que compite.
- e. Estrategia de promoción, publicidad y ventas: Definir la estrategia de promoción, los canales de comunicación o formas de ofrecer el producto o servicios a los clientes. Además, incluir el valor estimado.

ANEXO G. INFORMACIÓN DEL PROYECTO

1. **Breve descripción del proyecto:** Describir en que consiste el proyecto, rama o actividad económica, localización geográfica, bienes o servicios a producir, mercado al cual se orientará, cantidad de empleos a generar y cualquier externalidad positiva.
2. **Aspectos técnicos del proyecto:** Describir el proceso productivo e identificar las etapas críticas relacionadas con la inversión a financiar. Mencionar proveedores críticos relacionados con la inversión y principales controles de calidad. Definir todos los permisos requeridos para la implementación del proyecto y si ya se cuenta con alguno, mencionarlo. Identificar riesgos.
3. **Inversiones del proyecto:** Presentar el plan de inversión, donde se detallen las inversiones necesarias, tipos de inversiones a realizar y costo total del proyecto. Anexar cotizaciones o facturas de las inversiones más relevantes. Especificar el origen de los recursos según el siguiente modelo:

Inversión	Monto de la inversión	Financiamiento BANDESAL	Financiamiento otras Instituciones	Aporte empresario
Rubro 1*				
Rubro 2				
Rubro 3, etc.				
Total				
%				

*: Algunos ejemplos de rubros pueden ser maquinaria y equipo, capital de trabajo, construcción, etc.

4. En el caso de construcciones, modificaciones y/o ampliaciones de inmuebles, se deben incluir los planos de distribución en planta y los permisos correspondientes cuando aplique.
5. **Cronograma:** Detallar el cronograma de actividades a implementar.
6. **Proyecciones financieras:** Flujo de caja, estado de resultados y balance. Las proyecciones deberán estar acordes al plazo del crédito solicitado, especificando ampliamente todos los supuestos empleados para su elaboración. Por ejemplo: crecimiento proyectado, indicadores de productividad, proyecciones de precio, volúmenes, etcétera). Para el primer año deberá incluirse el detalle mensual.