

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Propuesta Técnico-Económica para la reducción de los consumos energéticos asociados a la generación de Aire Comprimido en las instalaciones de RENAULT Sofasa S.A.S

Francisco José Restrepo Hoyos

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Gestión de Sistemas Energéticos Industriales

Asesor:

Carlos Alberto Acevedo Álvarez

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento Electromecánica
Medellín, Colombia
2021

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

Agradezco a la empresa RENAULT Sofasa S.A.S y en especial a todo el personal del Departamento de Mantenimiento Central quienes colaboraron, intervinieron y quienes siempre estuvieron dispuestos y abiertos para el suministro de información, solución de inquietudes y que hoy hacen realidad este informe que es una oportunidad para la aplicación de medidas que permitan la reducción de los consumos energéticos en el proceso asociado a la generación de aire Comprimido de sus instalaciones, de igual manera doy también mis más sinceros agradecimientos a RENAULT Sofasa S.A.S por la oportunidad que me han dado para poder aplicar mis conocimientos adquiridos en esta especialización, por último y no menos importante, agradezco al personal docente quienes me acompañaron durante esta Especialización y quienes con sus conocimientos, aportes y consejos han permitido en mí un crecimiento profesional y humano.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ACRÓNIMOS

CFM: Pies Cúbicos por minuto.

IE: Índice de Consumo.

IDE: Indicadores de desempeño energético.

kW: Kilovatio.

kWh: Kilovatio Hora.

LBE: Línea base energética.

MCOP: Millones de pesos colombianos.

PHVA: Planear – hacer – Verificar – Actuar.

psi: Libra por pulgada Cuadrada.

SGE: Sistema de Gestión Energética.

USE: Uso significativo de Energía.

Veh: Vehículos.

TABLA DE CONTENIDO

RECONOCIMIENTOS	2
ACRÓNIMOS	3
TABLA DE CONTENIDO	4
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Generalidades.....	9
1.2. Objetivo General.....	11
1.3. Objetivos Específicos.....	11
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Introducción al aire comprimido.....	12
2.2. Conformación del aire comprimido.....	14
2.3. Conformación del sistema de generación de aire comprimido.....	15
2.3.1. Compresor.....	16
2.3.2. Sistema de control de parámetros.....	18
2.3.3. Secador refrigerativo.....	18
2.3.4. Tanque de almacenamiento.....	19
2.3.5. Sistema de filtración.....	19
2.3.6. Sistema separador de condensados.....	20
2.3.7. Sistema de purgas automáticas.....	21
2.3.8. Válvulas de corte.....	21
2.4. Costos promedio asociados a generación de aire comprimido en la industria.....	22
2.5. RENAULT Sofasa, eficiencia energética y generación de aire comprimido.....	23
3. METODOLOGIA	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Caracterización de consumo energético de perímetro de utilidades de RENAULT	

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Sofasa.....	27
4.2. Consumos diarios de energía eléctrica para el proceso de generación de aire Comprimido.....	28
4.3. Registros diarios de ensamblaje de vehículos.....	30
4.4. Recolección de información en sitio.....	30
4.5. Caracterización de equipos asociados al proceso de generación y distribución de aire comprimido.....	31
4.6. Esquemático de proceso de generación de aire comprimido.....	32
4.7. Operación de sistema de generación de aire comprimido.....	34
4.8. Análisis cuantitativo de los consumos energéticos en el proceso de generación y tratamiento de aire comprimido.....	35
4.9. Generación de la línea base (LBE) asociada al sistema de generación de aire Comprimido.....	36
4.10. Estimación de ahorros.....	39
4.10.1. Oportunidades de Mejora operacionales.....	39
4.10.1.1 Corrección de fugas en el proceso.....	40
4.10.1.2. Estandarización de operación de sistema de generación de aire comprimido durante días de no producción y pre arranque de producción.....	43
4.10.1.3. Montaje de válvulas neumáticas de cierre para procesos.....	45
4.10.2. Oportunidades de Mejora tecnológica.....	47
4.10.2.1. Actualización licencia ES360.....	47
4.10.2.2. Cambio compresor ZR400 VSD por compresor centrífugo.....	49
4.10.3. Oportunidades de mejora sistemas de monitoreo.....	52
4.10.3.1. Calibración de medidores de flujo de aire comprimido para Procesos.....	52
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	57
REFERENCIAS.....	61

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipos y cantidades que conforman estación de generación de aire comprimido instalaciones de RENAULT Sofasa.....	31
Tabla 2. Registros de consumo de energía eléctrica estación de Generación de aire comprimido Instalaciones de RENAULT Sofasa.....	37
Tabla 3. Resumen oportunidades de mejora operacionales.....	54
Tabla 4. Resumen oportunidades de mejora cambio de tecnología.....	55
Tabla 5. Resumen oportunidades de mejora sistema de monitoreo.....	55
Tabla 6. Matriz de oportunidades de mejora según inversión.....	56

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Consumo mensual típico de energía eléctrica RENAULT Sofasa.....	9
Ilustración 2. Consumo mensual típico de energía eléctrica destinada a generación de aire comprimido.....	10
Ilustración 3. Pilares ambientales RENAULT Sofasa.....	10
Ilustración 4. El experimento de Herón de Alejandría.....	13
Ilustración 5. Diversas aplicaciones del aire comprimido en la industria.....	13
Ilustración 6. Composición del aire atmosférico.....	14
Ilustración 7. Estación típica de generación de aire comprimido.....	15
Ilustración 8. Diferentes tipos de compresores.....	17
Ilustración 9. Compresores típicos en la industria automotriz.....	17
Ilustración 10. Sistema de control y monitoreo del compresor.....	18
Ilustración 11. Secadores de aire comprimido al interior de la estación de generación.....	19
Ilustración 12. Tanques acumuladores (pulmones) típicos en la industria.....	19
Ilustración 13. Sistemas de filtración típicos en la industria.....	20
Ilustración 14. Sistemas de separación de condensados.....	20
Ilustración 15. Sistemas de purgas asociados a compresores y secadores de estación de generación de aire comprimido.....	21
Ilustración 16. Válvulas de corte asociadas a generación y distribución de aire Comprimido.....	21
Ilustración 17. Costos asociados a una estación de generación de aire comprimido.....	22
Ilustración 18. Consumos específicos y costos energía plantas RENAULT.....	24
Ilustración 19. Pareto de consumo de energía eléctrica taller de Utilidades RENAULT Sofasa.....	27
Ilustración 20. Gabinete eléctrico y sistema de medición de consumos de estación de Generación de aire comprimido instalaciones RENAULT Sofasa.....	29
Ilustración 21. Interior gabinete eléctrico de compresores estación de aire comprimido En instalaciones de RENAULT Sofasa.....	29
Ilustración 22. Gama de vehículos que se ensamblan en REANULT Sofasa.....	30

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Ilustración 23. Levantamiento información en estación de generación de aire comprimido RENAULT Sofasa.....	31
Ilustración 24. Compresores que integran la estación de generación de aire comprimido de las instalaciones de RENAULT Sofasa.....	32
Ilustración 25. Secadores y tanque acumulador que hacen parte de la estación de generación de aire comprimido RENAULT Sofasa.....	32
Ilustración 26. Esquemático del proceso de generación de aire comprimido en RENAULT Sofasa.....	33
Ilustración 27. Operación del proceso de generación de aire comprimido en las instalaciones de RENAULT Sofasa.....	34
Ilustración 28. Matriz energética de consumo para generación de aire comprimido.....	36
Ilustración 29. Línea base energética (LBE) para el proceso de generación de aire Comprimido instalaciones de RENAULT Sofasa.....	38
Ilustración 30. Datos en sitio para medición de nivel de fugas de aire comprimido en el proceso.....	41
Ilustración 31. Oferta de personal para corrección de fugas de aire comprimido.....	43
Ilustración 32. Horarios destinados para suministro de aire comprimido y para Pre arranque de producción.....	44
Ilustración 33. Correo informativo horarios de suministro de aire comprimido.....	45
Ilustración 34. Sistema de corte de aire comprimido zonificado propuesto.....	46
Ilustración 35. Oferta montaje de sistema de corte de aire comprimido zonificado.....	47
Ilustración 36. Control maestro para estación de generación de aire comprimido.....	48
Ilustración 37. Oferta licencia ES360.....	49
Ilustración 38. Compresor Centrífugo ZH450.....	50
Ilustración 39. Oferta compra compresor Centrífugo y sistema de control.....	50
Ilustración 40. Cuatro cajas de propuesta presentada a RENAULT Central.....	52
Ilustración 41. Analizador de redes de aire comprimido.....	53
Ilustración 42. Seguimiento en línea de variables asociadas a aire comprimido.....	54
Ilustración 43. Distribución del consumo de energía de eléctrica a través del proceso de generación, tratamiento y entrega del aire comprimido.....	59

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Dados los diferentes usos que tiene el aire comprimido, este constituye uno de los principales portadores de energía que se utilizan en los procesos industriales y tal como indica la literatura especializada “En el sector industrial, los sistemas de aire comprimido son los principales consumidores de energía” (Eras et al, 2020, p.1); Haciendo parte de este sector industrial antes mencionado tenemos a la Industria Automotriz en donde el consumo energético por concepto de la generación de aire comprimido se encuentra también dentro del Pareto de sus consumos energéticos y específicamente las instalaciones de RENAULT Sofasa ubicadas en el Municipio de Envigado (Ant) donde constituye entre el 10 y 15% de consumo de energía eléctrica (ver Ilustración 1 y 2).



Ilustración 1. Consumo mensual Típico energía eléctrica Renault Sofasa, esquema 2 turnos (Generada de datos entregados por RENALT Sofasa)

% De energía destinado para Generar Aire comprimido

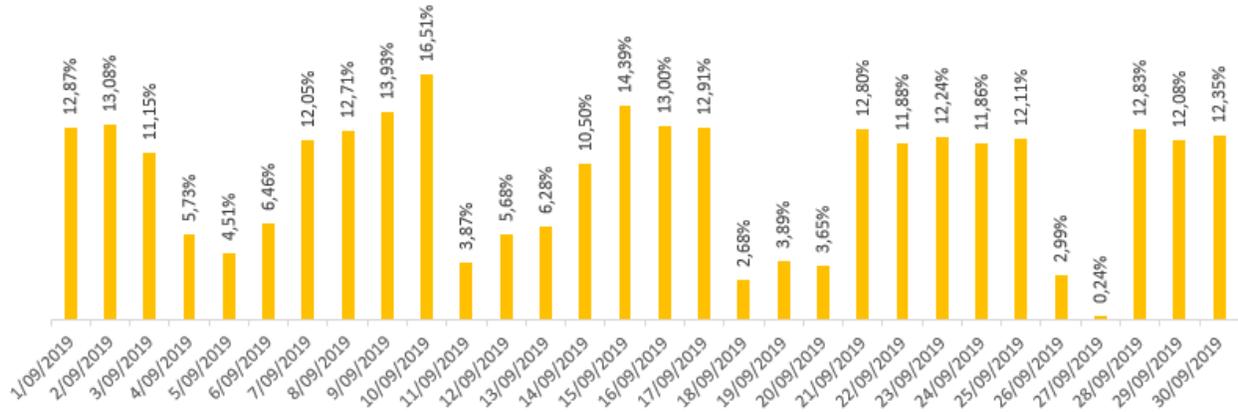


Ilustración 2. Consumo mensual Típico Renault Sofasa destinado para generación de aire comprimido (Generada de datos entregados por RENALT Sofasa)

Con base en los lineamientos de los objetivos dados por la Casa Matriz dentro de sus pilares de política ambiental (ver Ilustración 3), se considera necesario efectuar un estudio de eficiencia energética al sistema de producción y entrega de aire comprimido en dichas instalaciones, esto con el fin de generar una propuesta técnico-económica que permita a la compañía disminuir los consumos de energía eléctrica asociados a la generación de aire comprimido.

Cambio climático

PILARES FUNDAMENTALES DE LA POLÍTICA AMBIENTAL DE GROUPE RENAULT



Uno de los pilares fundamentales de la política ambiental de Renault es nuestro compromiso con la disminución de las emisiones de CO₂. Para esto, la empresa cuenta con diferentes acciones encaminadas a la reducción en el consumo de energía, gas y demás productos que contribuyan con emisiones de CO₂.

Visión responsabilidad social, salud y ambiental del Groupe Renault


 Huella ambiental


 Salud pública


 Movilidad innovadora

Política ambiental del Groupe Renault

- Huella ambiental e impactos ambientales
- Contribución a la competitividad del Grupo
- Management
- Cinco ámbitos prioritarios de acción

Objetivos

- Cambio climático y eficiencia energética
- Recursos y economía circular competitiva
- Salud y ecosistemas
- Servicios y sistemas de movilidad innovadores
- Management ambiental y partes interesadas

Ilustración 3. Pilares Ambientales RENAULT Sofasa. (Tomada de Informe de Sostenibilidad Renault Sofasa año 2019)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1.2. Objetivo General

Desarrollar una propuesta técnico - económica respecto del sistema de generación y entrega del aire comprimido en las instalaciones de RENAULT Sofasa ubicadas en el Municipio de Envigado (Ant), la cual permita la obtención de reducciones en el consumo de energía eléctrica en dicho proceso; la propuesta se llevará a cabo a través del establecimiento de las líneas base del proceso, el planteamiento de Indicadores de Desempeño energético, para así finalmente presentar acciones que lleven a un potencial de ahorros que van desde las buenas prácticas en la operación, hasta la implementación de tecnologías más eficientes.

1.3. Objetivos Específicos

- Caracterizar el proceso de generación de aire comprimido para las instalaciones de RENAULT Sofasa.
- Generar la línea base correspondiente al sistema de generación de aire comprimido.
- Estimar el posible ahorro potencial de la aplicación de buenas prácticas en los procesos que consumen aire comprimido.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción al Aire Comprimido

El aire comprimido ha tenido vital importancia desde los orígenes de la Humanidad. Los pulmones pueden ser considerados unos compresores creados por la misma naturaleza, durante el proceso de respiración el pulmón toma aire y funciona muy similarmente un compresor, recíprocamente, el volumen se expande como resultado de la depresión del diafragma y se llena de aire, luego el aire es expulsado por contracción del diafragma que reduce el volumen, puesto que no puede ser expulsado libremente, debido a la restricción que ofrece la tráquea, hace que el aire expulsado se comprima de 0.02 a 0.08 bar. (Kaeser compresores, 2013, p.8).

El aire comprimido ha apoyado el desarrollo industrial de la humanidad, por ejemplo para fundir el metal puro, una corriente de aire era necesaria para elevar y mantener la temperatura del fuego por encima de los 1000°C y esta fue abastecida, durante la edad de bronce, por una bolsa de fuelle para avivar mecánicamente el fuego, el medio con el que el fuelle trabajaba era con manos o los pies, permitiendo así al metal ser trabajado y forjado, es así como el fuelle se puede considerar como el primer compresor mecánico en la historia de la humanidad en sustitución de los pulmones como medio para elevar la temperatura del fuego.

El filósofo Herón de la Ciudad de Alejandría y quien vivió en esta a finales del siglo primero después de Cristo se puede considerar el padre de la producción de aire comprimido, Herón diseñó un mecanismo que permitía la apertura automática de las puertas del templo de Alejandría. Usando la energía del fuego del altar calentó aire en una cámara cerrada, que luego se expandía debido al mayor volumen del aire, el agua en la parte inferior del recipiente se desplazaba hacia un segundo recipiente en donde el incremento del peso de este tiraba de una cuerda y finalmente hacía que las puertas del templo se abrieran (ver ilustración 4).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

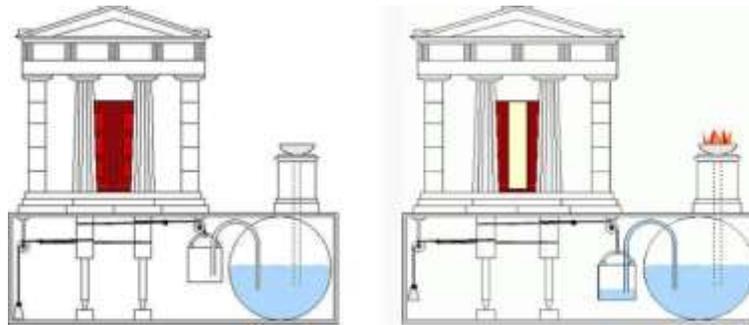


Ilustración 4. El experimento de Herón de Alejandría
(tomada de <http://herondealejandria.blogspot.com/2010/11/heron-de-alejandria-introduccion-su.html>)

Una aplicación importante que tuvo luego el aire comprimido más tarde correspondió al transporte de objetos, en el año de 1865 un sistema de correo neumático se instaló en la ciudad de Berlín para el transporte de Cartas y tarjetas, el aire comprimido se utilizaba para empujar las latas que contenían el correo a través de un sistema de tuberías subterráneas que unían 90 puntos de distribución, “dicho sistema llegó a tener una longitud total que superaba los 400Km y dicho sistema se mantuvo en operación hasta el año 1976” (Kaeser Compresores, 2013, p.8). Hoy día y tal como lo indica la empresa de Kaeser Compresores que es reconocida a nivel mundial

“En la actualidad, el aire comprimido es una herramienta fundamental e insustituible dentro de la industria, se utiliza desde la industria de la construcción, minería, alimentos,



Ilustración 5. Diversas aplicaciones del aire comprimido en la industria
(tomada de <https://www.tusocal.com/blog/aplicaciones-del-aire-comprimido-en-la-industria/>)

textiles, manufactura, industrial y sector de la salud” (Kaeser Compresores, 2013, p.9), tal como se muestra en la ilustración 5; este aire comprimido suele ser generado mediante una estación

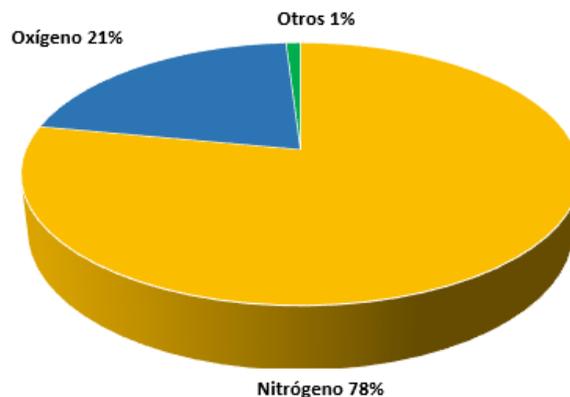
	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de aire comprimido con uno o varios compresores ubicados en una sala separada, los filtros y el sistema de secado del aire comprimido son frecuentemente instalados para el tratamiento de este, a su vez se almacena en recipientes o tanques de almacenamiento y amortiguamiento y se distribuye a través un sistema de tuberías. Esta es una forma eficaz y compacta que proporciona a las estaciones de trabajo y equipos neumáticos asociados el aire comprimido que requieren para su operación.

La literatura especializada coincide en indicar que “El uso del aire comprimido en la industria es un portador de energía importante y sin embargo pasado por alto” (Eras et al, 2020, p.2), de esto radica la suma importancia de generar una gestión energética óptima para este fluido, si bien es cierto que es “El aire comprimido es seguro, flexible y un medio simple para transferir energía a través de la planta, no es barato y debido a esto es que no debe ser desperdiciado”(Harding, 2007,p.1).

2.2. Conformación del aire comprimido

Atlas Copco, otra empresa reconocida a nivel mundial indica referente a la composición del aire comprimido lo siguiente: “Está constituido por aire atmosférico, el cual es por definición física/química una mezcla de gases incolora, inodora e insípida, constituida principalmente por 78% de Nitrógeno, 21% de oxígeno, el 1% restante es argón” (Kaeser Compresores, 2013, p.10). El aire atmosférico está siempre contaminado de partículas sólidas, tales como polvo, arena, vapor de aceite (ver ilustración 6).



**Ilustración 6. Composición del aire atmosférico
(Ilustración de autoría propia)**

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El aire atmosférico se compone de moléculas que se encuentran unidas por fuerza moleculares y en continuo movimiento, en materia gaseosa, la distancia entre las moléculas es grande y las fuerzas que las mantienen juntas son débiles, generando que el gas se expanda hasta llenar el volumen del recipiente que lo alberga y que a su vez se mezcle con otros gases presentes; este espacio entre moléculas individuales se puede minimizar reduciendo así el volumen total del gas a una pequeña parte de su volumen original, cuando esto ocurre, el movimiento de las moléculas produce choques con las paredes del recipiente que lo contiene, ejerciendo presión sobre este y la cual se define como la fuerza por unidad de área y las unidades de medida más utilizadas son el bar o psi.

El aire comprimido es aire atmosférico en un estado condensado, es energía almacenada que se puede convertir en trabajo cuando la presión es liberada.

2.3. Conformación del sistema de Generación de aire comprimido

Como se indicó anteriormente, el aire comprimido es fundamental para la mayoría de los procesos industriales y este es generado a través de lo que se conoce como estaciones de aire comprimido que está compuesto por compresor(es), secador(es), sistema de almacenamiento y conducción para los procesos que requieren de este fluido para su operación (ver ilustración 7)



Ilustración 7. Estación típica de aire comprimido en la industria

([http://proyectos.andi.com.co/Expometalica/Documents/Memorias%20evento/viernes%2030%20de%20octubre/KAESE R%20COMPRESORES%20DE%20COLOMBIA%20-%20PRESENTACION%20FERIA%20MINERA.pdf](http://proyectos.andi.com.co/Expometalica/Documents/Memorias%20evento/viernes%2030%20de%20octubre/KAESE%20COMPRESORES%20DE%20COLOMBIA%20-%20PRESENTACION%20FERIA%20MINERA.pdf))

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- 1 Compresor
- 2 Sistema de control de parámetros
- 3 Secador refrigerativo
- 4 Sistema de filtración
- 5 Tanque de almacenamiento
- 6 Sistema de purgas automáticas
- 7 Sistema separador de condensados
- 8 Válvula de corte

Partiendo de la explicación que dan los expertos en lo referente a un sistema de generación de aire comprimido en donde se indica que “cada uno de estos componentes representa un potencial de pérdida de energía en la forma de flujo o pérdida de presión en el sistema” (Mousavi et al, 2014, p.2), por tanto, es de vital importancia conocer a continuación, el funcionamiento del sistema y los componentes que lo integran:

El aire aspirado por el compresor entra a una presión y temperatura ambiente, con su respectiva humedad, se comprime al interior del equipo saliendo a una presión más elevada, lo que produce un calentamiento del aire, este aire ahora comprimido al irse enfriando genera humedad la cual debe ser eliminada inicialmente a través de un tanque acumulador para pasar a finalizar su etapa de secado a través de un secador refrigerativo y sistemas de purgas automáticas, ya pasado este proceso se cuenta con una aire comprimido con características para suministrarse al proceso, en caso de que el proceso exija características de calidad superiores, se debe instalar sistemas de filtración aguas arriba del proceso para garantizar niveles mínimos de contenido de sólidos, humedad y aceite.

2.3.1. Compresor

Existen 2 principios de compresión de aire (gas), la compresión de desplazamiento positivo y la compresión dinámica, los compresores de desplazamiento positivo incluyen el tipo scroll y diferentes tipos de compresor rotativos (tornillo, uña, paletas, entre otros), mientras que en la compresión de desplazamiento positivo, en el cual se aspira el aire en una o varias cámaras de compresión, en donde se queda confinado, el volumen en cada cámara disminuye gradualmente

y el aire se comprime al interior, al alcanzarse la presión establecida se produce la apertura de una válvula y el aire es descargado al sistema de salida. En la compresión dinámica, el aire se aspira entre los álabes de un rodete que gira rápidamente y acelera a gran velocidad, después se descarga a un difusor y ahí la energía cinética se transforma en presión estática (ver ilustración 8).

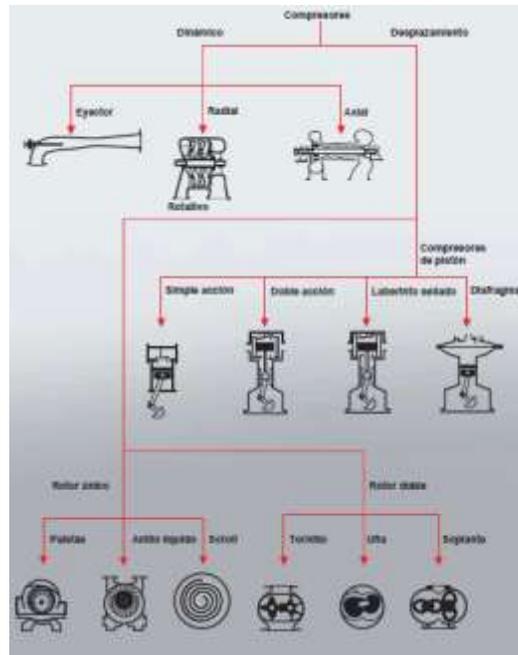


Ilustración 8. Tipos de Compresores
(tomada de <https://es.slideshare.net/petergp86/aire-comprimido-32061603>)

En nuestra aplicación, el compresor usado es de desplazamiento positivo tipo tornillo (ver ilustración 9).



Ilustración 9. Compresores típicos en la Industria automotriz
(tomada de <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/compresor-industrial-149326.html>)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2.3.2. Sistema de control de parámetros

Es el cerebro del compresor, asume las tareas de control y transmisión de datos en tiempo real, produciendo un análisis continuo del comportamiento del sistema y controlando variables tales como presión e indicando otras como temperatura, horas de marcha, próximos mantenimientos, niveles de aceite, estado de los rodamientos, rpm del motor, como se muestra en la ilustración 10.



Ilustración 10. Sistemas de control y monitoreo de operación del compresor
(Tomada de <https://es.aliexpress.com/item/32971670298.html>)

2.3.3. Secador refrigerativo

El aire comprimido como se dijo anteriormente contiene contaminantes como agua, aceite y partículas que deben eliminarse o reducirse al nivel aceptable según los requisitos específicos de cada aplicación. La norma ISO 8573-1 especifica las clases de pureza / calidad del aire para estos contaminantes. La humedad (contenido de vapor de agua) se expresa en términos del punto de rocío a presión, donde el punto de rocío es la temperatura a la que el aire está saturado al 100% de humedad. Cuando la temperatura del aire se reduce por debajo del punto de rocío, se producirá condensación. La reducción del contenido de agua hasta el punto de rocío a presión + 3 ° C se logra generalmente mediante el uso de secadores refrigerativos (ver ilustración 11).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Ilustración 11. Secadores de aire comprimido al interior de la estación de generación
(Tomada de <http://energiaenaire.com.mx/tipos-secadores-aire-comprimido/>)

Este tipo de secadores separa efectivamente el contenido de agua presente en el aire comprimido, evitando así deterioros en tubería y equipos.

2.3.4. Tanque de Almacenamiento

Los tanques de almacenamiento desempeñan una función muy importante en la estación de aire comprimido tanto por su capacidad de almacenamiento como por su efecto de amortiguamiento, lo cual permite compensar las fluctuaciones de la demanda y con frecuencia separan el condensado del aire comprimido (ver ilustración 12).



Ilustración 12. Tanques acumuladores (pulmones) típicos en la Industria
(tomada de <https://ar.kaeser.com/productos/almacenamiento-del-aire-comprimido-y-mantenimiento-de-la-presion/tanques-de-aire-comprimido/>)

2.3.5. Sistema de filtración

Tal como remarca la empresa KAESER “las impurezas en el aire que respiramos no son apreciables generalmente a simple vista y estas pueden tener un efecto negativo en la confiabilidad de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

funcionamiento del sistema de aire comprimido y de los usuarios de este” (2013, p.80), es así que los sistemas de filtración son componentes clave que se instalan en serie al proceso para garantizar las exigencias de calidad requeridas por el proceso, existen filtros de vapor de aceite, filtros de humedad y filtros de partículas, la instalación o no de estos depende de las exigencias del proceso y los requerimientos de calidad del aire comprimido (ver ilustración 13).



Ilustración 13. Sistemas de filtración típicos en la Industria
(tomada de <http://www.suministrosromer.com/es/filtros-para-aire-comprimido-filtros-para-compresor/121-filtros-para-aire-comprimido.html>)

2.3.6. Sistema separador de condensados

El condensado que se genera en la compresión de aire estará más o menos contaminado de suciedad y aceite según las condiciones de funcionamiento y el entorno. Estas sustancias pueden perjudicar el medio ambiente, debido a esto deben ser recogidas y tratadas correctamente, cada vez más las exigencias ambientales exigen este tipo de elementos y sistemas al interior de las industrias (ver ilustración 14).



Ilustración 14. Sistemas de separación de condensados
(tomada de <http://www.ibermag.es/producto/filtros-aire-comprimido/>)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2.3.7. Sistema de purgas automáticas

Los purgadores de condensado evacúan de la red de aire comprimido la humedad que se forma en los separadores ciclónicos, los secadores frigoríficos y los filtros. Son imprescindibles para un tratamiento eficaz del aire comprimido y para garantizar un suministro de aire comprimido sin averías (ver ilustración 15).



Ilustración 15. Sistemas de purgas asociadas a sistema de generación y secado de aire comprimido
(tomada de <https://www.directindustry.es/prod/atlas-copco-compressors/product-5575-14355.html>)

2.3.8. Válvulas de corte

Son elementos utilizados en serie con la tubería que conduce el aire comprimido y su función es aislar los sistemas, equipos, cortando el suministro del fluido en cuestión, existen de diferentes tipos, pueden ser de bola, mariposa, compuerta (ver ilustración 16).



Ilustración 16. Válvulas de corte asociadas a generación y suministro de aire comprimido
(tomada de <https://es.scribd.com/presentation/425035022/Tipos-de-Valvulas>)

Una vez visto los equipos y elementos que constituyen la estación de Generación de Aire comprimido, podemos pasar a analizar y a constatar que la electricidad es la energía predominante en la producción industrial del aire comprimido y en muchas instalaciones

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

neumáticas existe con frecuencia grandes posibilidades pero que son desaprovechadas de ahorro energético, ya sea mediante recuperación de calor, reducción de fugas y optimización del suministro de aire a través de un sistema de control y regulación.

2.4. Costos promedio asociados a generación de aire comprimido en la industria

Tal y como indican los expertos que “la amplia aplicación del sistema de aire comprimido se ha convertido en uno de los principales sistemas consumidores de energía en la industria moderna, causando el problema de un enorme consumo de energía” (Fan et al, 2013, p.1), es por lo anterior que cada vez es toma más relevancia optimización de la estación de generación de aire comprimido, especialmente en las industrias que dependen del aire comprimido para su operación y por lo tanto es de suma importancia conocer los costos asociados a la misma, Los costos asociados a energía eléctrica son claramente el factor preponderante del costo total de la instalación, debido a esto es de suma importancia hallar solución que respondan tanto a los requisitos de calidad y rendimiento y a la par con los requisitos de uso eficiente de la energía. Tal y como la empresa Atlas Copco lo plantea en su Manual de aire comprimido “Al efectuar un desglose de los distintos gastos asociados a la producción de aire comprimido, se obtiene generalmente una distribución a la mostrada en la imagen a continuación” (Atlas Copco, 2011, p.102), ver ilustración 17.

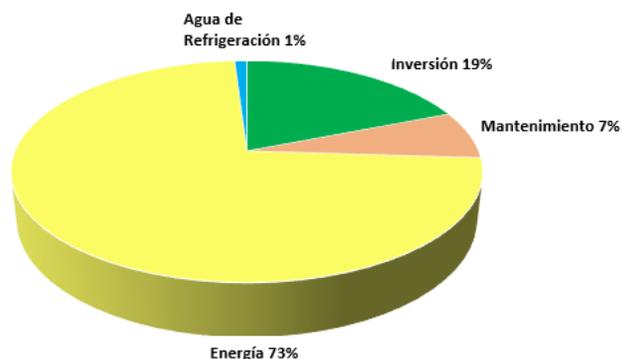


Ilustración 17. Costos típicos asociados a una estación de generación de aire comprimido (Ilustración Tomada de Manual de Aire comprimido ATLAS COPCO)

Se evidencia que el gran costo asociado a la generación de Aire comprimido es la energía eléctrica (73%), seguido muy de lejos por la inversión (19%) y el Mantenimiento (7%), para finalizar en

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

sistemas de refrigeración (1%), Reforzando la información anterior, otros autores coinciden indicando que “los costos de energía representan el 75% del coste de ciclo de vida de un sistema de aire comprimido”(Eras et al, 2020, p.1) o como la reconocida empresa Festo que dentro de sus gamma productos abarcan los sistemas de aire comprimido y al hacer los análisis sobre costos fijos y costos variables de la operación de un sistema de generación de aire comprimido concluye que “la mayor parte de los costos desaparecen, siendo aproximadamente el 75% de origen energético” (Billep & Fleischhacker, 2013, p.2) y otros autores que dan a conocer que “solo entre el 10 al 30% de la electricidad consumida por el sistema de compresión se utiliza en el usuario final” (Eras et al, 2020, p.1); con las estadísticas anteriormente dadas, vemos lo fundamental que es hacer una buena gestión en la generación de aire comprimido ya que esto se verá reflejado en los costos de operación y en la factura de energía.

Actualmente la falta de seguimiento del consumo energético a nivel industrial “solo el 14% de las empresas miden el consumo energético de la estación de aire comprimido” (Bonfá et al, 2019, p.2), facilitando así el desperdicio de energía eléctrica, una de las principales razones que se tiene es “el escaso conocimiento de los beneficios de la eficiencia energética derivados de la medición del consumo” (Bonfá et al, 2019, p.2) y complementado a lo anteriormente dicho “ el mero hecho de revisar datos y establecer metas e indicadores puede ser suficiente para crear beneficios” (Posada, 2014, p.196).

2.5. RENAULT Sofasa, eficiencia energética y generación de aire comprimido

RENAULT Sofasa es una empresa dedicada al ensamblaje de los vehículos RENAULT y no siendo ajena a la mayoría de industrias que requieren de la generación de aire comprimido para atender sus procesos, dentro de sus políticas ambientales esta la reducción de la huella de carbono y una de las maneras de obtenerlo es a través de la optimización de sus consumos energéticos, es así como desde el año 2011 constituyo un grupo al interior de la organización conocido como el comité de energía, el cual busca generar ideas y aplicarlas para obtener reducción en los costos de operación de la empresa, ideas destinadas a la reducción de los consumos de agua, energía y gas, la metodología que se ha aplicado ha sido a través de KAIZEN, buenas prácticas,

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

benchmarking e inversiones y que la ha llevado a ser la planta más eficiente energéticamente dentro de todo el grupo RENAULT (ver ilustración 18).

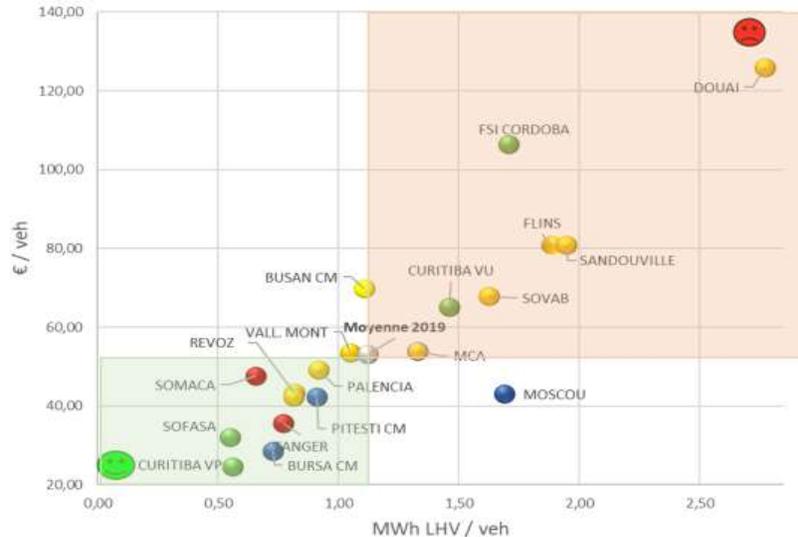


Ilustración 18. Consumos específicos y costos de energía plantas de RENAULT (Tomada de Energy Report RENAULT 2019)

Tal como lo especifica directamente el grupo RENAULT “Este gráfico representa el rendimiento bruto de cada sitio en 2019, basado en datos del Campaña de informes REE medioambiental y energético: la herramienta de informes históricos del Grupo” (Groupe Renault, 2019, p.11), continuando con la aclaración de que “Este diagrama debe interpretarse teniendo en cuenta que los perímetros de las plantas son bastante diferentes, así como las tasas de carga de producción. Nos permite visualizar el efecto del precio de energía con igual consumo específico” (Groupe Renault, 2019, p.11).

En cuanto a lo específico al sistema de generación de aire comprimido se han implementado múltiples acciones donde las más sobresalientes han sido:

- Compra de un Compresor de Velocidad Variable (ZR 400VSD).
- Disminución de la presión de generación para el proceso.
- Instalación de válvulas automáticas para cierre y apertura de zonas del proceso que consumen aire comprimido.
- Identificación de Fugas a través de ultrasonido.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Instalación de compresores de baja capacidad para atención de procesos durante horarios de no producción.
- Instalación de tubería en aluminio para los procesos.
- Instalación de booster para ampliar la presión en las zonas más alejadas.
- Compra de compresores clase cero (ZT 90 y ZT 110).
- Sistema de extracción de calor en estación de generación de aire comprimido.
- Desmonte de tuberías de aire comprimido en desuso.
- Instalación de loops en zona de cabinas de pintura y parque de proveedores.

Estas y muchas más acciones se han realizado en busca siempre de una performance en el consumo asociado a la generación de aire comprimido, pero continuamente aparecen nuevas exigencias y nuevos retos, lo cual lleva a la compañía a plantear nuevas formas de incrementar la performance de la compañía para continuar ocupando la primera posición en cuanto a consumo energético en el mundo RENAULT y cumplir con la responsabilidad social empresarial donde se tiene como uno de sus principales ejes la reducción de la huella de carbono.

Es debido a esto se plantea la presentación de una propuesta técnico-económica que permita a RENAULT Sofasa obtener reducciones significativas en el consumo energético asociado a la generación de aire comprimido.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. METODOLOGÍA

La base de la metodología que se emplea en el presente trabajo es principalmente a través del método de investigación cuantitativa, donde se procederá a la toma de diferentes datos (consumo de energía, vehículos producidos) y de medición de variables (Corriente eléctrica, potencia eléctrica, caudal de aire comprimido) dentro de un rango de tiempo de 5 meses (Desde Septiembre 19 de 2020 hasta Febrero 14 de 2021) que permita mediante la aplicación de la estadística (diagramas de Pareto, diagrama de dispersión, líneas base, etc) arrojar comportamientos operativos de los sistemas bajo estudio y que puedan ser descritos matemáticamente; de igual manera se hace uso del método de investigación aplicada que permita lograr los objetivos que se tienen planteados en el presente trabajo donde el énfasis es generar una performance potencial en el proceso bajo análisis y estudio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de consumo energético del perímetro de utilidades de RENAULT Sofasa

Como punto de partida se procede a efectuar un levantamiento de la información referente a mediante una revisión energética que como varios expertos la han definido “consiste en examinar los usos y los consumos actuales de energía, para así dar prioridad y registrar oportunidades de optimización del desempeño energético” (Castrillón & Gonzalez, 2018) al perímetro de Utilidades de las instalaciones de RENAULT Sofasa; el cual dentro de sus funciones se encuentra el garantizar el suministro de los diferentes fluidos tales como aire comprimido, energía eléctrica, agua potable, agua desmineralizada, agua industrial, gas natural y CO₂ hacia los diferentes talleres (soldadura, pintura, ensamble) y las demás áreas asociadas al proceso productivo (bodegas, talleres y almacenes), es así que se efectúa un análisis de sus consumos energéticos más significativos en energía eléctrica y se procede entonces a efectuar un análisis de Pareto de los consumos más penalizantes y sobre los cuales se puede efectuar una GE que contribuya a la performance de la compañía (ver ilustración 19).

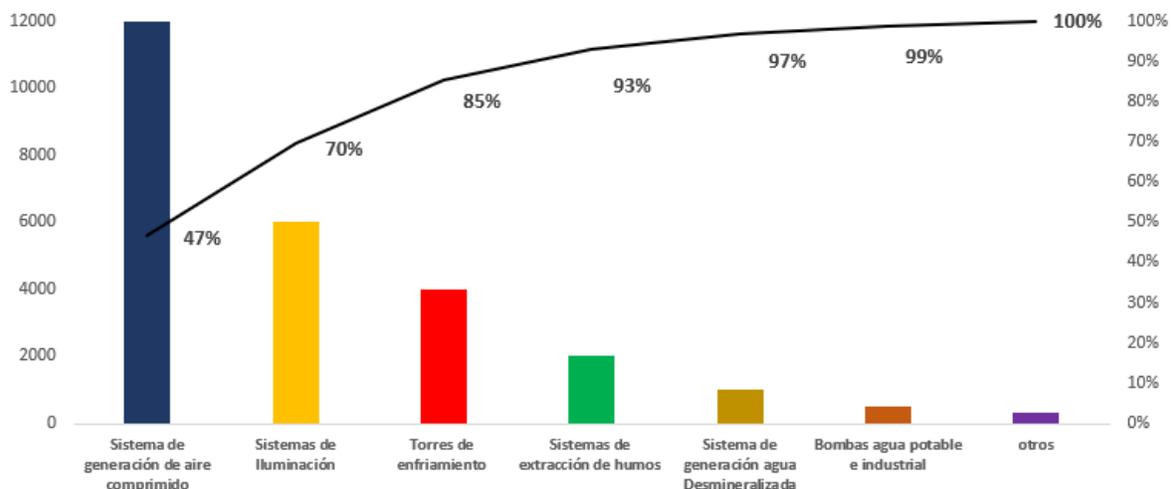


Ilustración 19: Pareto de Consumo de energía eléctrica en taller Utilidades (KWh/día prod)
(Gráfica de propia autoría generada de datos dados por RENAULT Sofasa)

Dentro de los resultados obtenidos en este diagrama de Pareto, identificamos que más del 80% de los consumos de energía eléctrica se encuentran representados en 3 sistemas:

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Generación de aire comprimido (47%)
- Iluminación (23%)
- Sistema de refrigeración de agua (15%)

Como se observa en la ilustración 19, el sistema de generación de aire comprimido es el sistema que representa el mayor consumo de energía y sobre el cual se toma la decisión de efectuar los diferentes análisis para hacer más eficiente la generación, distribución y entrega del aire comprimido. Sobre los otros dos sistemas se logró determinar que se han efectuado labores que han permitido la mejora en el comportamiento energético tanto en lo referente a iluminación (cambio a iluminación led, temporizadores, dimerización, check list de energizada de sistema, etc) como a sistema de refrigeración de agua (variadores de velocidad, motores de alta eficiencia, sistema de control del proceso, etc).

Una vez identificado que la generación de aire comprimido es el mayor consumidor de energía eléctrica dentro del perímetro de las utilidades, se procede a efectuar el levantamiento de la información más relevante asociada a la estación de generación de aire comprimido, dentro de la información a recopilar se encuentran los consumos energéticos asociados a este sistema, los equipos que lo conforman, los esquemáticos del proceso y los volúmenes diarios de vehículos ensamblados en las instalaciones de RENAULT Sofasa, esto con el fin de generar tendencias de comportamiento al hacer comparativos entre consumos energéticos y vehículos ensamblados, la manera de la recopilación de la información se describe a continuación.

4.2. Consumos diarios de energía eléctrica para el proceso de generación de aire comprimido

Los equipos asociados a la estación de generación de aire comprimido se encuentran conectados eléctricamente desde el gabinete eléctrico tipo ML identificado al interior de la compañía como gabinete ML N°11, este gabinete cuenta con un medidor de energía eléctrica que permite hacer seguimiento continuo del consumo energético, para el presente trabajo se toman las lecturas diarias de consumo energético arrojadas por este medidor; el periodo estimado de toma de datos

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

será de aproximadamente 5 meses para contar una buena base de datos que permita generar información relevante para el presente trabajo (ver ilustración 20).



Ilustración 20: Gabinete eléctrico y sistema de medición consumos de estación de Generación de aire comprimido de las instalaciones de RENAULT Sofasa (Ilustración de propia autoría)



Ilustración 21: Interior Gabinete eléctrico compresores estación de generación de aire comprimido (Ilustración de propia autoría)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4.3. Registros diarios de ensamblaje de vehículos

El producto final que entrega RENAULT Sofasa y que es la razón de ser de la compañía son los vehículos marca RENAULT tipo Duster, Logan, Sandero y Stepway como se muestra en la ilustración 22.



**Ilustración 22: Gama de vehículos que se ensamblan en RENAULT Sofasa
(Tomada de informe de sostenibilidad RENAULT Sofasa año 2019)**

Dentro del trabajo que se está desarrollando, el número de vehículos ensamblados día a día son un indicador de suma importancia, es por esto que para el presente trabajo se registrará los vehículos ensamblados día a día (información entregada por el departamento de Producción) y se procederá a registrarla para compararla contra los consumos energéticos asociados a la generación de aire comprimido.

4.4. Recolección de información en sitio

Para el levantamiento esquemático del proceso de generación de aire comprimido y la identificación de las características más importantes de los equipos que lo conforman, se procederá a ir al sitio donde se encuentran ubicados físicamente, esto permitirá conocer de primera fuente las instalaciones y familiarizarse con el proceso que allí se lleva a cabo (ver ilustración 23).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Ilustración 23: Levantamiento de información en estación de Generación de aire comprimido (Ilustración de propia autoría)

4.5. Caracterización de equipos asociados al proceso de generación y distribución de aire comprimido

El proceso de generación de aire comprimido se encuentra conformado por los siguientes equipos:

Tabla 1. Equipos y Cantidades que conforman estación de generación de aire comprimido RENAULT Sofasa

EQUIPOS	CANT
Compresor ATLAS COPCO Z400VSD	1
Compresor ATLAS COPCO Z400:	1
Compresor ATLAS COPCO ZT110	1
Compresor ATLAS COPCO ZT90	1
Secador Refrigerativo ATLAS COPCO FD 245	1
Secador Refrigerativo ATLAS COPCO FD 310	1
Secador Refrigerativo KAESER 2500	1
Tanque acumulador	1

En las ilustraciones 24 y 25 identificamos los equipos reales existentes junto con sus principales características, tales como fabricante, año de fabricación, peso, presión de generación, caudal, dimensiones físicas, potencia eléctrica, etc.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Compresor ZR 400VSD	Compresor ZR 400	Compresor ZT 110	Compresor ZT 90
Tipo: Tornillo rotativo exento de aceite, frecuencia Variable. Fabricante: ATLAS COPCO Año de Fabricación: 2011 Potencia eléctrica: 400kw Caudal Generado: 2000cfm Presión mín: 7bar Presión Máx: 10.4bar Peso: 7000kg	Tipo: Tornillo rotativo exento de aceite Fabricante: ATLAS COPCO Año de Fabricación: 2008 Potencia eléctrica: 400kw Caudal Generado: 2000cfm Presión mín: 7bar Presión Máx: 10.4bar Peso: 7000kg	Tipo: Tornillo rotativo exento de aceite Fabricante: ATLAS COPCO Año de Fabricación: 2015 Potencia eléctrica: 110kw Caudal Generado: 670cfm Presión mín: 7bar Presión Máx: 10.4bar Peso: 4000kg	Tipo: Tornillo rotativo exento de aceite Fabricante: ATLAS Año de Fabricación: 2015 Potencia eléctrica: 90kw Caudal Generado: 560cfm Presión mín: 7bar Presión Máx: 10.4bar Peso: 3800kg
			

**Ilustración 24. Compresores que integran la estación de generación de aire comprimido RENAULT Sofasa
(Ilustración de propia autoría)**

Secador ppal	Secador FD 310	Secador FD 245	Tanque Acumulador
Tipo: Refrigerativo Fabricante: KAESER Año de Fabricación: 2013 Potencia eléctrica: 20kw Caudal Máx: 2500cfm Presión Máxima: 16bar	Tipo: Refrigerativo Fabricante: ATLAS COPCO Año de Fabricación: 2015 Potencia eléctrica: 2.9kw Caudal Máx: 637cfm Presión Máxima: 14bar	Tipo: Refrigerativo Fabricante: ATLAS COPCO Año de Fabricación: 2015 Potencia eléctrica: 2.2kw Caudal Máx: 520cfm Presión Máxima: 14bar	Material: Acero Capacidad: 30m3 Fabricante: Desconocido Peso: 3000kg
			

**Ilustración 25. Secadores y tanque acumulador que hacen parte de la estación de generación de aire comprimido
RENAULT Sofasa
(Ilustración de propia autoría)**

4.6. Esquemático de proceso de generación de aire comprimido

Ya identificados los equipos que conforman la estación de generación de aire comprimido, se procede al levantamiento del esquemático del proceso asociado a la generación de aire comprimido, el cual permite identificar la operación y clarificar a las energías que ingresan al proceso y lo entregado por el mismo.



**Ilustración 26. Esquemático proceso de Generación de Aire comprimido Instalación RENAULT Sofasa.
(Ilustración de propia autoría)**

En la ilustración 26 se observa como para el aire generado tanto para el compresor ZT 110 como para el compresor ZT 90 se cuenta con un secador independiente, mientras que para los compresores ZR 400VSD y el ZR 400 cuentan con un secador compartido que es suficiente para la demanda total del proceso, con la configuración propuesta se garantiza la selectividad en la operación de los equipos a su vez que se garantiza el correcto secado del aire que será demandado por el proceso, además se identifica que el sistema cuenta con un sistema acumulador o tanque pulmón que contribuye a amortiguar demandas súbitas por encima de las normales del proceso y a estabilizar la presión del mismo.

4.7. Operación de sistema de generación de aire comprimido

Ya identificado los equipos y la configuración del proceso de generación de aire comprimido, se procede a conocer la configuración de operación para abastecer las demandas de aire comprimido requeridas para el proceso productivo, llegándose a identificar el siguiente comportamiento del sistema.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



**Ilustración 27. Operación de Proceso de Generación Aire comprimido RENAULT Sofasa
(Ilustración de propia autoría)**

Al analizar la ilustración 27 del comportamiento de la estación de generación de aire comprimido se identifica la operación del sistema que describimos a continuación según lo explicado por el área de Mantenimiento Central y que enumeramos aquí a través de notas que permiten clarificar más la operación del sistema bajo estudio.

Nota 1

Las configuraciones optimas son las que incluyen una carga base o una carga fija en el proceso, debido a que el consumo de aire comprimido de las instalaciones de RENAULT Sofasa pueden alcanzar valores pico de 2600 a 2700CFM, este compresor con capacidad de suministrar 670CFM se encuentra asumiendo esta carga base del proceso.

Nota 2

Debido a las características del compresor ZR 400VSD, el cual se acomoda para atender requerimientos variables de carga (entre 1200CFM a 2000CFM), se tiene configurado este compresor para que termine de atender la carga normalmente demandada en las instalaciones de RENAULT Sofasa, la cual está por el orden de los 2300 a 2500CFM, con la operación del

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

compresor ZT 110 y el compresor ZR 400VSD se abastece normalmente el consumo requerido para el proceso.

Nota 3

El compresor ZT 90 está destinado para suplir demandas por encima de los 2600CFM, esta situación no es común que se presente, pero ante requerimientos superiores cubriría las demandas que se presenten.

Nota 4

Este compresor ZR400 (Capacidad de 2000CFM) con características idénticas al compresor ZR400VSD excepto a que no es de comportamiento variable sino fijo, está destinado a operar en caso de que el compresor ZR400VSD se encuentre fuera de operación debido mantenimientos correctivos, predictivos o preventivos.

Basándonos en los anteriores resultados y con el análisis realizado de comportamiento de consumos energéticos de cada uno de los equipos, procedemos a realizar un análisis cuantitativo de consumos, los cual nos servirá como hoja de ruta para mirar donde debemos enfocar nuestras labores para obtener resultados más contundentes y representativos.

4.8. Análisis Cuantitativo de los Consumos energéticos en el proceso de generación y tratamiento de aire comprimido

Con el fin de identificar y analizar los diferentes consumos de energía en el proceso destinado a la generación del aire comprimido, se procede a realizar la respectiva matriz energética (ver ilustración 28), la cual se puede considerar como un “Instrumento que facilita la identificación y el análisis de las diferentes fuentes de consumo energético” (Castrillón & Gonzalez, 2018).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

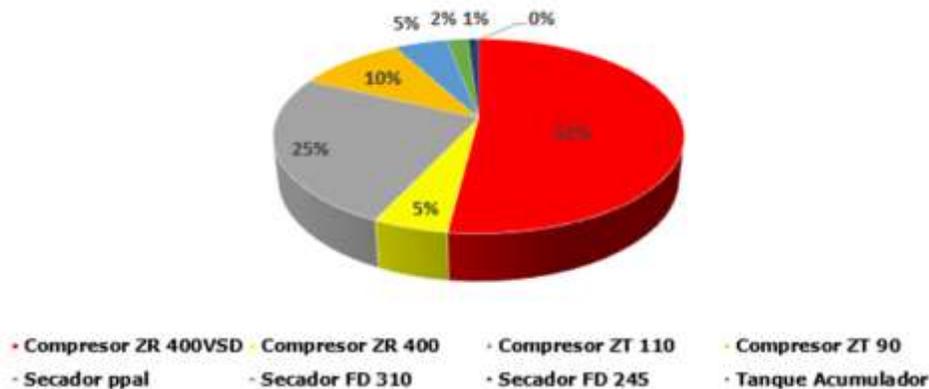


Ilustración 28. Matriz energética de consumo proceso de Generación aire comprimido RENAULT Sofasa
(Ilustración de propia autoría generada de datos suministrados por RENAULT Sofasa)

En esta matriz energética se identifican las distribuciones de los consumos energéticos en cada uno de los equipos asociados al proceso de generación y tratamiento de aire comprimido, siendo el compresor ZR 400VSD el equipo de mayor consumo (52%) seguido del compresor ZT 110 (25%), el compresor ZT 90 representa un 10% del consumo, el compresor ZR 400 que es un equipo en stand by y que generalmente su operación se presenta cuando el equipo titular se encuentra en mantenimiento, representa un consumo del orden del 5% del total y para finalmente ser los secadores destinados al proceso de secado del aire estar por el orden del 8% del consumo total, lo cual nos ratifica lo indicado por la literatura especializada acerca de que “ las necesidades energéticas de los secadores de aire y del sistema de control son relativamente pequeños y casi constante. Por tanto, estos dos componentes pueden excluirse del análisis de eficiencia energética” (Mousavi et al, 2014, p.4).

4.9. Generación de la línea base energética (LBE) asociada al sistema de generación de aire comprimido

Teniendo claro que la línea base es tal como define la literatura especializada “una herramienta esencial para evaluar el progreso de la implementación de un sistema de gestión de energía” (Castrillón & Gonzalez, 2018).

Se procede entonces a efectuar un análisis técnico del comportamiento de este y como base fundamental de seguimiento y análisis de mejoras, se procede establecer una línea base de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

energía (LBE), utilizando la información de la revisión energética inicialmente realizado, este análisis asociado al proceso de generación de aire comprimido fue realizado desde el 21 de Septiembre del año 2020 hasta el 14 de Febrero del año 2021, lo cual permite contar con un periodo de aproximadamente 5 meses para toma de datos asociados tanto a consumos energéticos como a ensamblaje de vehículos, si bien la recomendación por parte de expertos en la materia es que “El periodo seleccionado para construir la línea base energética, debe ser lo suficientemente largo para que los datos incluyan los diferentes estados operacionales de los equipos, instalaciones y/o áreas dentro de los límites energéticos establecidos” (Castrillón & Gonzalez, 2018), para el presente estudio fue el tiempo que se dispuso para recolección de la información; de los datos obtenidos en la toma de registros, se procede a eliminar los datos identificados como fallas o errores en la medición al igual que las desviaciones detectadas durante los periodos de no producción (recuperación de vehículos, reparación de compresores, puesta a punto procesos).

Tabla 2. Registros de Consumos de Energía Eléctrica estación de aire comprimido instalaciones RENAULT Sofasa

fecha	Producción (Veh)	Total (Kwh)	fecha	Producción (Veh)	Total (Kwh)	fecha	Producción (Veh)	Total (Kwh)
21/09/2020	178	8940	15/10/2020	155	8819	5/11/2020	191	9635
22/09/2020	180	8528	16/10/2020	155	8579	6/11/2020	192	9366
23/09/2020	159	8158	17/10/2020	0	103	7/11/2020	204	9235
24/09/2020	180	8436	18/10/2020	0	99	8/11/2020	0	185
25/09/2020	180	7977	19/10/2020	175	8792	9/11/2020	182	9994
26/09/2020	0	1069	20/10/2020	175	8621	10/11/2020	208	9629
27/09/2020	0	30	21/10/2020	164	8654	11/11/2020	215	9906
28/09/2020	205	8883	22/10/2020	176	8766	12/11/2020	208	9393
29/09/2020	200	8916	23/10/2020	175	8890	13/11/2020	152	8886
30/09/2020	201	8796	24/10/2020	175	8970	14/11/2020	216	9037
1/10/2020	197	6693	25/10/2020	0	626	15/11/2020	0	786
2/10/2020	200	8747	26/10/2020	180	9156	16/11/2020	0	62
3/10/2020	0	1393	27/10/2020	180	8755	17/11/2020	181	9815
4/10/2020	0	47	28/10/2020	185	8760	18/11/2020	205	9351
5/10/2020	200	9308	29/10/2020	185	8947	19/11/2020	213	9115
6/10/2020	204	9316	30/10/2020	179	8593	20/11/2020	214	9216
7/10/2020	200	8518	31/10/2020	180	8759	22/11/2020	0	516
11/10/2020	0	516	2/11/2020	0	17	23/11/2020	216	9792
13/10/2020	175	8789	3/11/2020	194	8992	24/11/2020	214	9655
14/10/2020	155	8683	4/11/2020	174	9442	25/11/2020	216	9586

fecha	Producción (Veh)	Total (Kwh)	fecha	Producción (Veh)	Total (Kwh)	fecha	Producción (Veh)	Total (Kwh)
26/11/2020	219	9436	18/12/2020	213	9834	12/01/2021	157	7914
27/11/2020	216	9508	19/12/2020	210	9870	13/01/2021	174	8242
28/11/2020	194	9222	20/12/2020	0	512	14/01/2021	187	8156
29/11/2020	0	1419	24/12/2020	0	775	15/01/2021	171	8112
30/11/2020	209	10316	25/12/2020	0	18	16/01/2021	0	693
1/12/2020	216	9520	27/12/2020	0	546	17/01/2021	185	8496
2/12/2020	206	9592	28/12/2020	0	973	18/01/2021	170	8051
3/12/2020	221	9458	29/12/2020	0	943	19/01/2021	177	8073
4/12/2020	221	9386	30/12/2020	0	905	20/01/2021	165	7007
5/12/2020	0	1475	31/12/2020	0	17	21/01/2021	171	8167
6/12/2020	0	10	1/01/2021	0	17	22/01/2021	153	7919
7/12/2020	0	662	2/01/2021	0	17	23/01/2021	0	1296
8/12/2020	0	969	3/01/2021	0	17	31/01/2021	181	6407
9/12/2020	199	10072	4/01/2021	0	875	4/02/2021	156	8643
10/12/2020	199	9559	5/01/2021	0	1249	5/02/2021	0	1872
11/12/2020	203	9558	7/01/2021	180	8329	6/02/2021	0	339
12/12/2020	204	9594	8/01/2021	176	7974	7/02/2021	201	8568
14/12/2020	210	8164	9/01/2021	0	774	8/02/2021	181	8223
15/12/2020	212	7891	10/01/2021	0	158	9/02/2021	177	8094
17/12/2020	211	9707	11/01/2021	0	198	10/02/2021	164	8103
						11/02/2021	169	7864
						12/02/2021	0	1052
						13/02/2021	0	738
						14/02/2021	0	0

Es así como se obtienen los registros mostrados en la tabla 1, donde se registra el consumo energético asociado a la estación de generación de aire comprimido y los vehículos ensamblados en el mismo periodo de tiempo, de estos registros tomados se procede a generar la respectiva línea base de consumo energético asociada y en la que se obtiene la gráfica que se muestra en la ilustración 29.

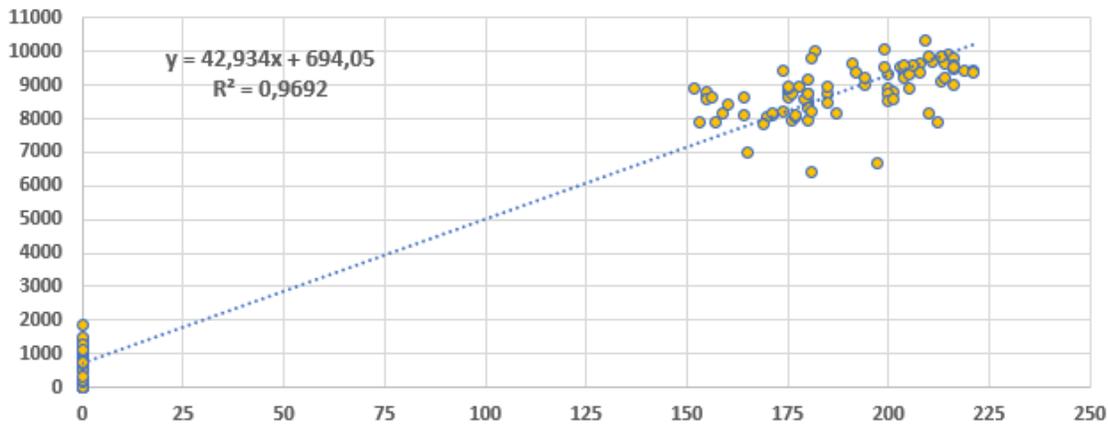


Ilustración 29. línea base energética (LBE) proceso de Generación del aire comprimido RENAULT Sofasa (Ilustración de propia autoría generada de toma de datos en instalaciones de RENAULT Sofasa)

Donde para mayor calidad se identifican las variables de la siguiente manera:

y: kWh consumidos (kWh consumidos al día en el proceso de generación de Aire).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

x: Producción de Vehículos (Vehículos ensamblados al día).

Siendo $y = 42,934x + 694,05$

$R^2 = 0,9692$

la ecuación obtenida a través de regresión lineal $y = 42,934x + 694,05$ es una herramienta fundamental para la comparación y el análisis de desempeños energéticos entre los periodos de tiempo tomados para la generación de la línea base.

Dentro de la línea LBE generada, toma alta relevancia el valor obtenido del coeficiente de correlación, para nuestro caso el valor obtenido corresponde a $R:0,985$, este valor está indicando una confiabilidad muy alta de los datos tomados.

Es importante clarificar, que esta línea base generada arroja “el desempeño energético de un periodo de tiempo determinado y bajo unas condiciones específicas” (Harding, 2007, p.6), para el caso en estudio, corresponde a un sistema de fabricación bajo un esquema de 2 turnos de producción contemplados en la franja horaria desde las 5:00am hasta las 10:40pm.

Ya identificada el comportamiento de consumo energético y vehículos ensamblados, se procede a realizar auditorías energéticas que están enfocadas a la reducción del consumo de energía eléctrica asociada al proceso de generación de aire comprimido, para el presente trabajo se plantean 3 ejes que comprenden oportunidades de mejora operacionales, oportunidades de mejoras tecnológicas y oportunidades de mejora del sistema de monitoreo, en cada uno de estos ejes se profundiza a continuación.

4.10. Estimación de ahorros

Se procede entonces a efectuar un análisis de actual estación de generación de aire comprimido de RENAULT Sofasa, primero se procede identificando los equipos que la conforman, donde se obtiene los siguientes resultados del levantamiento de la Información.

4.10.1. Oportunidades de mejora operacionales

Tal y como lo refiere la literatura especializada, se está refiriendo a oportunidades

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

“Identificadas al analizar los elementos productivos y no productivos, con miras a obtener un desempeño energético óptimo, permitiendo así incrementar la producción por unidad de energía y reducir los costos unitarios, sin perjudicar la calidad del producto” (Castrillón & Gonzalez, 2018), adicionalmente los expertos hay llegado a afirmar que con aplicando estas oportunidades “Se pueden obtener excelentes ahorros por encima del 30% y con mínima inversión” (Harding, 2007, p.1).

En esta analizamos las posibilidades de mejorar la operatividad de los procesos tanto durante producción como fuera de producción, con el objeto de obtener desempeños óptimos, sin perjudicar la calidad de los productos y que a su vez representan una inversión mínima.

4.10.1.1 Corrección de fugas en proceso

Un aspecto negativo de la distribución del aire comprimido son las fugas, las cuales como se indican en algunas industrias “las tasas de fuga de aire comprimido puede alcanzar entre el 10% al 30% de la generación total” (Pingping, Maolin, 2011, p.1) estas pueden ocurrir en cualquier parte de la red, los acoples neumáticos son muy susceptibles a las fugas, de igual manera las mangueras o válvulas de cierre, se debe también tener claro que “las fugas incrementan el costo de la generación de aire comprimido y reducen el rendimiento de los consumidores” (Kaeser Compresores, 2013, p.159) y que a su vez son “ “trabajadores” muy laboriosos que no tienen días libres, no se enferman o tomas vacaciones, de hecho operan 8.760 horas al año” (Kaeser Compresores, 2013, p.159). y a manera de ejemplo se puede decir que “una fuga de orificio de 1 mm de diámetro en la tubería da como resultado la pérdida de hasta aproximadamente 1600kWh año” (Fan et al, 2013, p.3).

Se procede a medir el nivel de fugas de aire comprimido a través del método de medición de descarga en el tanque acumulador, se efectúa la prueba el Dia domingo 28 de febrero de 2021, donde el método consiste en presurizar la red y a partir de ahí medir el tiempo en que la red se despresuriza hasta cierto nivel, se debe conocer para aplicar esta técnica en volumen del tanque pulmón y el volumen de la tubería distribuida por toda la red y aplicamos la siguiente ecuación:

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Donde

\dot{V}_L = Volumen de flujo de fuga
 V_B = Volumen del receptor de aire
 p_A = Presión inicial, receptor de aire
 p_E = Presión final, receptor de aire
 t = Tiempo de medición

$$\dot{V}_L = \frac{V_B \times (p_A - p_E)}{t}$$



Presión inicial:
94psi (6.1bar)



Presión final:
0psi (0bar)



Tiempo medición:
31min

Ilustración 30. Datos en sitio para medición de nivel de fugas en proceso (Ilustración de propia autoría generada de tomas de datos en RENAULT Sofasa)

De la ilustración 30 se observa que la presión inicial en el tanque pulmón fue de 94psi (6,1bar), la presión final en el tanque pulmón fue de 0psi (0bar), el tiempo que se tardó la red en despresurizarse fue de 31 minutos y la capacidad del tanque junto con el resto de la red que forma el sistema de aire comprimido es de aproximadamente 60000 litros (60m³), esta prueba se efectuó un día de no producción no operación de equipos para garantizar que la medición arrojara datos veraces y no se incurriera en error de medición, así se garantiza que todas las

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

pérdidas se deben a fugas de aire comprimido en el sistema, aplicando la formula obtenemos en siguiente resultado.

$$\text{Volumen de flujo de fuga} = 60000 \text{ litros} \times \left(\frac{6.1 \text{psi} - 0 \text{psi}}{31 \text{minutos}} \right) = 11800 \frac{\text{Litros}}{\text{minuto}}$$

$$\text{Volumen de flujo de fuga} = \frac{11.8 \text{m}^3}{\text{minuto}} = 417 \text{CFM}$$

El consumo de las instalaciones de RENAULT Sofasa es en promedio 2000CFM podemos decir que el consumo asociado a fugas representa aproximadamente el 20% del consumo, técnicamente un sistema de generación de aire comprimido en buen estado debe tener su nivel de pisos de fugas por el orden del 10%, basándonos en la eficiencia del sistema de generación que se estima según fabricante del orden de 19kWh/100CFM, vemos que estamos consumiendo 80kWh para solo el sostenimiento de las fugas y esto transformado a días de producción de 17 horas diarias y a 240 días de operación al año, arroja un consumo energético asociado a fugas que se encuentra por el orden de los 323000kWh/año, lo que se traduce en un costo de aproximadamente 107 millones de pesos/año de costos por concepto de fugas en el sistema.

Ya obtenidos los costos asociados a fugas, se procede presentar una propuesta de personal mecánico que se dediquen durante los días de producción a identificar las fugas en los diferentes procesos y durante los días de no producción efectuar corrección de estas, se solicita cotización de este personal a la empresa CMN Montajes y dicha propuesta está actualmente bajo análisis por parte del departamento de mantenimiento central.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



CT-816-21

Medellín, 05 de Marzo de 2021

Ingeniero

FRANCISCO RESTREPO
RENAULT SOFASA S.A.S.
Envigado

ASUNTO:

Estimado Ingeniero:

Atendiendo su solicitud de cotización, gustosamente le presentamos la propuesta de acuerdo a conversación sostenida con usted.

DESCRIPCION:

A continuación, se describen los trabajos a realizar:

Personal electromecánico para laborar de sábados y Domingos en el horario de las 7:00am a las 4:00pm (8 días en el mes) en la corrección de fugas de aire comprimido identificadas en los procesos de Soldadura, pintura y ensamble.

Nota: El equipo detector de fugas y los materiales de reparación serán suministrado por la empresa RENAULT Sofasa

Valor total: \$ 2.950.000+ IVA

Forma de pago: 30 Días
Validez de la oferta: 15 Días

Agradeciéndole la atención prestada y dispuestos a resolver sus inquietudes

Atentamente,



JAIRO URIBE C.
Ingeniero de Proyectos

Ilustración 31. Oferta de personal para corrección de fugas

4.10.1.2 Estandarización operación de sistema de generación de aire comprimido durante días de no producción y pre arranque de producción

Como se mencionó con anterioridad, existe al interior de RENAULT Sofasa un grupo conocido con el nombre de Comité de Energía, el cual tiene como función principal garantizar el buen uso de los diferentes fluidos al interior de la organización, en donde es importante recalcar y tal como lo plantea la norma ISO 50001 DE 2018 una de las consignas que este grupo persigue y que está muy plasmada en la literatura especializada es el que “las personas deberían ser conscientes de la política energética, con su contribución a la eficacia del sistema de gestión energética, del impacto de sus acciones y de los resultados de su comportamiento para mejorar el desempeño

energético de la compañía”(Harding, 2007,p.5), por tanto, se incluye dentro de una de las tareas la de estandarizar los horarios de suministro de fluidos durante días de no producción y para pre arranque de la planta, así que semanalmente desde el mes de enero de 2021 durante la reunión de trabajos de los fines de semana que se realiza los días viernes de 9am a 10am se trata el tema de los requerimientos de fluidos para el fin de semana en que no hay producción, en esta reunión los diferentes representantes de Mantenimiento soldadura, pintura, ensamble y proveedores plantean sus requerimientos y se define entre todo el equipo de trabajo los horarios destinados para el suministro de fluidos.

Hora	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes
	31 de Marzo	01 de Abril	2 de Abril	3 de Abril	4 de Abril	5 de Abril
0:00						
1:00	50psi					
2:00						
3:00						
4:00						
5:00						
6:00						
7:00						
8:00		90psi	90psi	90psi		
9:00						
10:00						
11:00						
12:00		90psi	90psi			
13:00						
14:00						
15:00						
16:00						
17:00						
18:00						
19:00						
20:00						
21:00						
22:00					90psi	
23:00						

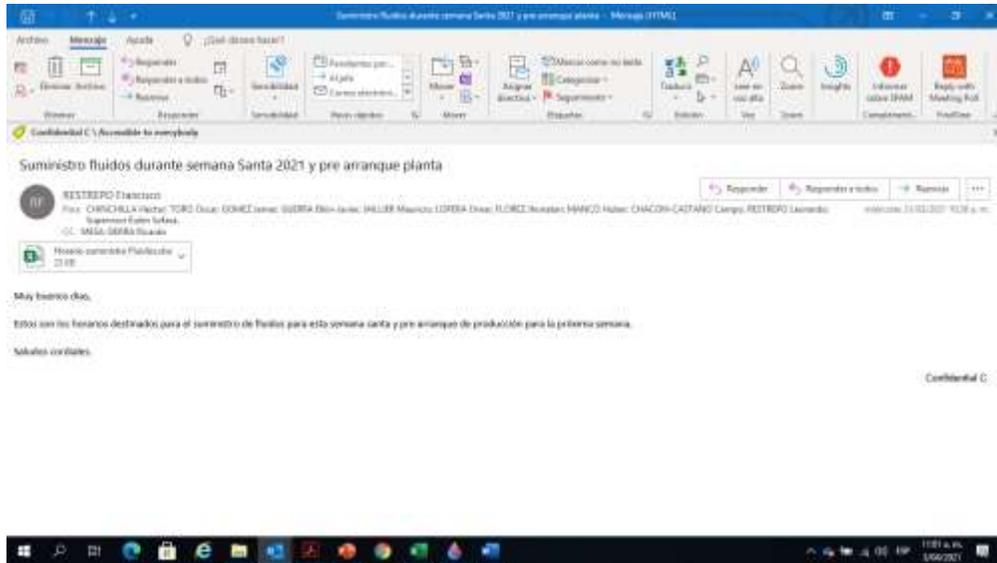
Ilustración 32. Horarios destinados para suministro de aire comprimido y pre arranque de producción (Ilustración entregada por el departamento de Mttto Central de RENAULT Sofasa)

En la ilustración 32 se muestra un ejemplo del formato que ya se está utilizando donde se indican horarios de suministro de aire comprimido y sus respectivas presiones, anteriormente no se llevaba este tipo de formato y el sistema de generación de aire comprimido se ponía en operación ante cualquier requerimiento que se presentará durante los horarios de no producción.

Para el despliegue de la información se está implementando que el formato antes mostrado se envía un correo electrónico a las diferentes personas que participan en la reunión de los trabajos

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de fin de semana con copia al generante de Mantenimiento central para que quede trazabilidad de lo acordado en dicha reunión.



**Ilustración 33. Correo informativo horarios suministro fluidos
(Ilustración dada por el departamento de Mtto Central de RENAULT Sofasa)**

A manera de ejemplo se muestra en la ilustración 33, el formato adjunto y a su vez el correo enviado a cada una de las personas que participan de la reunión de trabajos de fin de semana, este correo junto con el archivo indicando los horarios definidos para el suministro de fluidos se envía todos los viernes antes de las 11am y se coordina con el electricista de turno los horarios acordados. es importante recalcar y tal como lo plantea la norma ISO 50001 de 2018 la consigna de que “las personas deberían ser conscientes de la política energética, con su contribución a la eficacia del sistema de gestión energética, del impacto de sus acciones y de los resultados de su comportamiento para mejorar el desempeño energético de la compañía” (Rivero, 2021, p.31).

4.10.1.3 Montaje de válvulas neumáticas de cierre para procesos

Actualmente en las instalaciones de RENAULT Sofasa se cuentan con válvulas neumáticas de corte como las que se muestran en la ilustración 34, este tipo de válvulas permiten aislar tramos de tubería y por consiguiente solo atender los procesos que lo requieran durante los días de no producción donde se esté efectuando un mantenimiento determinado o un proceso específico,

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

actualmente solo se cuentan con este tipo de válvulas neumáticas para el proceso de soldadura y del parque de proveedores.



Ilustración 34. Sistema de corte de aire comprimido propuesto (Ilustración de fotos tomadas al interior de RENAULT Sofasa)

El planteamiento consiste en instalar otros sistemas de válvulas neumáticas que permitan aislar las zonas de ensamble, pintura, esto con el objetivo de focalizar más la generación de aire comprimido para los procesos que lo requieran durante los días de no producción, con esta idea lo que se pretende es que durante fines de semana y en los espacios de suministro de aire comprimido un solo compresor sea capacitario para atender la solicitud, actualmente se deben poner en operación tanto el ZT 110 como el ZT 90 para generar una presión a 90psi, con esta acción se podría alcanzar esta presión solo con poniendo en operación el compresor ZT 110, con esto se ahorraría la operación de un compresor durante los días de no producción en los horarios destinados para el suministro de aire comprimido (ver ilustración 35).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



CT-269-21

Medellín, 20 de Marzo de 2021

Ingeniero

FRANCISCO RESTREPO
RENAULT SOFASA S.A.S.
 Envigado

ASUNTO: VÁLVULAS DE CORTE DE AIRE COMPRIMIDO

Estimado Ingeniero:

Atendiendo su solicitud de cotización, gustosamente le presentamos la propuesta de acuerdo a conversación sostenida con usted.

DESCRIPCIÓN:

A continuación, se describen los trabajos a realizar:

- Montaje de sistema de corte para tubería de 4", incluye by pass del sistema. En zonas de Ensamble y pintura.
- Instalación de válvula neumática para cierre de zonas de ensamble y pintura.
- Redes eléctricas para operación de válvulas desde piso.

Valor total: \$ 19.875.412+ IVA

Forma de pago: 30 Días

Validez de la oferta: 15 Días

Ilustración 35. Oferta montaje sistemas de corte zonificado de aire comprimido

4.10.2. Oportunidades de mejora tecnológica

Son Aquellas oportunidades que “Surgen del resultado de una auditoria y se refiere a cambios tecnológicos para el incremento del desempeño energético de la planta” (Castrillón & Gonzalez, 2018), las ideas propuestas identificadas que se plantean referentes a nuevas tecnologías, equipos o sistemas de control son las siguientes:

4.10.2.1 Actualización Licencia ES360

Partiendo del conocimiento de que “una metodología para reducir el consumo energético significativo en plantas industriales es mediante seguimiento y control” (Bonfá et al, 2019, p.5) y que “ los sistemas de compresores generalmente operar hasta un 16% por debajo de su punto de máxima eficiencia debido a ausencia de un buen control de sus variables” (Van Torden, 2014, p.1) y de que las instalaciones de RENAULT Sofasa cuenta con un ES360 de marca ATLAS COPCO el cual es un sistema de control maestro, el cual controla la operación de toda la estación de generación de aire comprimido, buscando siempre la mejor configuración en el sistema la cual

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

permita la optimización en el consumo energético., permitiendo configurar también la operación de los equipos, regular presiones, caudales, arranques y paradas de equipos, regímenes de operación durante días de producción y días de no producción.



**Ilustración 36. Control maestro para estación de Generación de Aire comprimido
(Ilustración tomada al interior de las instalaciones de RENAULT Sofasa)**

El equipo ES360 se muestra físicamente en la ilustración 36, se identifica que desde el pasado mes de enero de 2021 la licencia de este dispositivo expiro, los ahorros que se pueden obtener al implementar este tipo de equipos pueden ser por el orden del 3% del consumo total de la instalación (ver ilustración 37), partiendo a su vez desde la premisa de expertos que se refieren a que “a medición de las condiciones operativas reales es crucial para caracterizar el consumo de energía relacionado con la compresión generación de aire” (Bonfá et al, 2019, p.6).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

PRECIO P1 de 2 Precio licencia anual ES60

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTE	PRECIO DE LISTA TOTAL USD	PRECIO TOTAL COP
1	VALOR LICENCIA ANUAL	1	180011306	1960.40 USD	1960.40 USD
Precio Total SIN IVA NI FLETE					1960.40 USD

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTE	PRECIO DE LISTA TOTAL COP	PRECIO TOTAL COP
1	MANO DE OBRA ANUAL	1		810,000 COP	810,000 COP
Precio Total Mano de Obra					810,000 COP

TOTAL LICENCIA ANUAL SIN IVA= 1960.40 USD

TOTAL MANO DE OBRA ANUAL= 810,000 COP

PRECIO P2 de 2 Propuestas licencia ES60

Propuestas:

1. Contrato a 2 años

Valor LICENCIA sin IVA = 3,920.80 USD

Valor Mano de obra = 1,620,000 COP

2. Contrato a 3 años

Valor LICENCIA sin IVA = 9,802.00 USD

Valor Mano de obra = 4,050,000 COP

DESCUENTO DEL 20% EN CASO DE ACEPTAR LA PROPUESTA 2 EN EL VALOR DE LA LICENCIA(no en mano de obra).



Ilustración 37. Oferta de licencia ES360

Se procede a conseguir la cotización de la actualización de la licencia para el ES360, la cual mostramos en la ilustración anterior y la cual se encuentra actualmente en proceso de validación y que va a permitir efectuar un seguimiento en línea de los diferentes consumos y variables al interior del proceso de generación de aire comprimido.

4.10.2.2 Cambio de compresor ZR 400VSD por compresor Centrifugo

El actual compresor titular ZR 400VSD cuenta con casi ya 60000 horas de operación y ha perdido eficiencia, es decir que se encuentra consumiendo más kWh para generar la misma cantidad de caudal (CFM), adicionalmente una de las etapas del compresor han perdido aislamiento debido a lo cual se debió efectuar una adecuación al interior del mismo para ventilar esta etapa, este tipo de compresores por recomendaciones del fabricante deben tener un overhaul (se conoce también como mantenimiento 0 horas) a las 40000 horas de operación, esta labor a la fecha no se ha realizado, dicho overhaul implica el cambio de las dos unidades alta y baja con que cuenta el equipo, de igual manera, el compresor ZR 400 fijo que se tiene como equipo stand by, también

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ha sobrepasado las 40000 horas de operación lo que implica que se le debe efectuar también un overhaul, haciendo el análisis de costos, se identifica que estos 2 overhauls a efectuar cuestan aproximadamente lo mismo si se compara con un compresor centrífugo y al conocer los beneficios que tiene este tipo de compresor versus los equipos titulares actuales con que cuenta RENAULT Sofasa, se puede llegar a obtener ahorros en el consumo de energía del orden de los 39000USD, lo que representaría una disminución del consumo energético por los rangos del 25% al actualmente demandado (ver ilustración 38).



Ilustración 38. Compresor Centrífugo ZH 450
(Tomada de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/atlas-copco-zh355-zh400-zh450-zh500-zh560-zh630-zh710-zh800-zh900-centrifugal-oil-free-air-compressors-60783657384.html>)

Este tipo de compresores son para trabajo pesado y requieren un mínimo mantenimiento, lo cual es otra ventaja adicional.

Se solicitó oferta a de las empresas Atlas Copco, Kaeser. Ingersoll Rand, de las cuales la única que está ofreciendo este tipo de equipos es Atlas Copco, la oferta planteada se presenta en la ilustración 39.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Descripción del alcance general para el escenario de Capex:

Para esta propuesta se incluye el nuevo compresor centrífugo ZH450-130 (calculado previamente y seleccionados buscando la mejor eficiencia energética para la planta de producción) y el sistema de control Optimizer 4.0. Como opcionales a la negociación se presenta una secadora refrigerativa para el nuevo compresor (FD1500+) y un filtro de red DD1400+F.

Referencia de Equipo	Descripción	Cant.	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
ZH450-130	COMPRESOR CENTRIFUGO ZH 450 – 130 Compresor Centrífugo de tres etapas, 100% libre de aceite, refrigerado por agua. Motor de 480 Kw y 440 Voltios. Con una capacidad de 2798 cfm FAD @ 95 PSig. Con certificación ISO 8573-1 CLASE 0 (2010). Motores TEFC IP55. Ver ficha técnica y curva de operación adjunta.	1	\$ 273.410	\$ 273.410
OPTIMIZER 4.0	SISTEMA DE CONTROL – OPTIMIZER 4.0 Es la nueva generación de controladores centrales de Atlas Copco, el cual permite gobernar tanto compresores centrífugos como compresores de tornillo. Ver ficha técnica adjunta.	1	\$ 25.880	\$ 25.880
EMPAQUE INCLUIDO				
			Subtotal USD	\$ 299.290,00
			Descuento	\$ 25.880,00
			Subtotal después de descuento USD	\$ 273.410,00
			IVA (19%)	\$ 51.947,90
			TOTAL USD	\$ 325.357,90

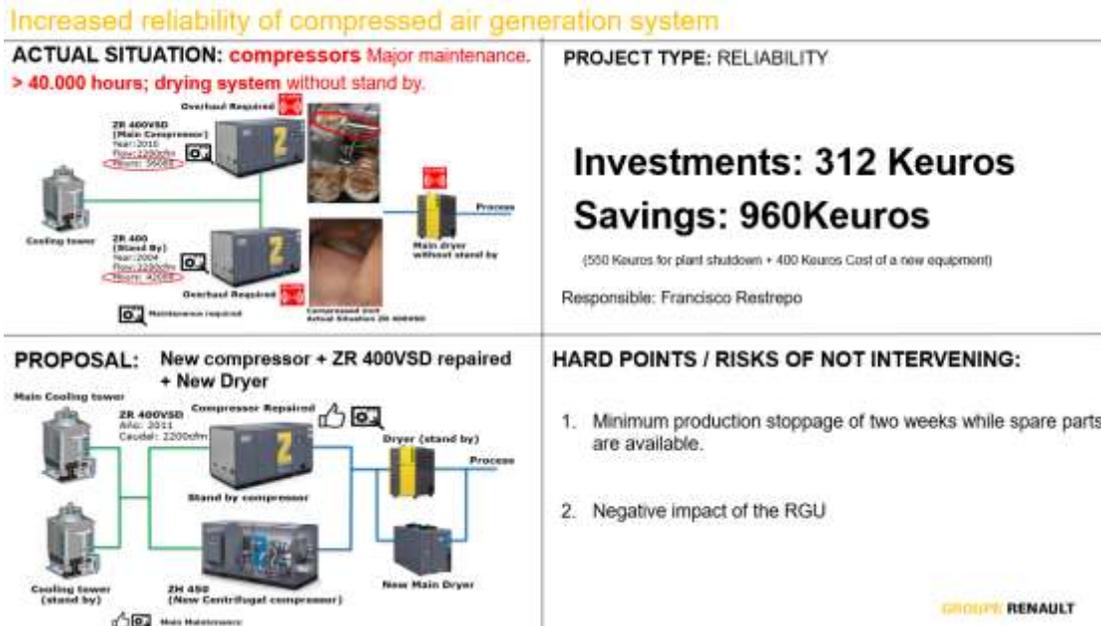
(Opcionales a la negociación)

Referencia de Equipo	Descripción	Cant.	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
FD1500+	SECADORA REFRIGERATIVA FD1500+ Secadora refrigerativa refrigerada por aire. Con una capacidad de 3178 cfm FAD @ 7 Barg.	1	\$ 39.510	\$ 39.510
DD1400+F	FILTRO COALESCENTE DD1400+F Filtro coalescente que elimina contaminantes como agua líquida, aerosol de aceite de hasta 0,1 ppm y tamaños de partículas de hasta 1 micra. Conexión de 8" flanchado. Ver ficha técnica adjunta.	1	\$ 4.300	\$ 4.300
EMPAQUE INCLUIDO				
			Subtotal USD	\$ 43.810,00
			IVA (19%)	\$ 8.323,90
			TOTAL USD	\$ 52.133,90

Ilustración 39. Oferta compra compresor Centrífugo y sistema de control

Actualmente el análisis y la propuesta han sido presentadas a RENAULT Central a través de Un formato que se conoce al interior de la compañía como el CUATRO CAJAS donde además incluimos el overhaul del compresor ZR 400VSD, lo cual nos garantiza un equipo titular como el ZH 450 y el resto de equipos pasarían a ser de stand BY y el compresor ZR 400 saldría de operación definitiva, esta propuesta presentada se encuentra en estudio y en espera de la validación presupuestal para proceder con la compra e instalación de este equipo y que forme parte de la estación de generación de aire comprimido de las instalaciones de RENAULT Sofasa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



**Ilustración 40. Cuatro Cajas de Propuesta presentada a RENAULT Central
(Tomada de información entregada por el departamento de Mto Central de RENAULT Sofasa)**

4.10.3 Oportunidades de mejora sistema de monitoreo

Este tipo de oportunidades muestra “la situación actual del sistema de monitoreo energético existente y plantea la necesidad de ser ampliado y mejorado para la operación del sistema de gestión energético, permitiendo generación de líneas base y el seguimiento de indicadores de desempeño energético” (Castrillón & Gonzalez, 2018).

4.10.3.1 Calibración de medidores de flujo de aire comprimido para procesos

La red de aire comprimido de los diferentes procesos tales como soldadura, pintura, ensamble y parque de proveedores cuentan con un sistema de medición de variables (presión, temperatura, caudal, etc) para el aire comprimido similar al que se muestra en la ilustración 41.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Ilustración 41. Analizador de redes sistemas de aire comprimido
(tomada de <https://www.vpinstruments.com/product/vpflowscope-m>)

Este sistema se implementó hace ya aproximadamente 5 años, pero no se han calibrado los equipos lo que arroja una medida errónea y no permite efectuar un correcto seguimiento de los consumos en los diferentes talleres; las mediciones correctas de presión y de caudal son fundamentales para una correcta gestión energética, actualmente en el ámbito industrial “Solo el 4% mide el caudal de aire comprimido” (Bonfá et al., 2019, p.2), RENAULT Sofasa se encuentra en ese 96% restante que actualmente no efectúa un adecuado seguimiento de estas variables.

las medidas registradas en la ilustración 42 no son correctas, actualmente se está buscando la propuesta para que sean nuevamente calibrados e incluidos dentro de un plan de mantenimiento preventivo donde se incluya el requerimiento de calibración periódica de estos equipos.

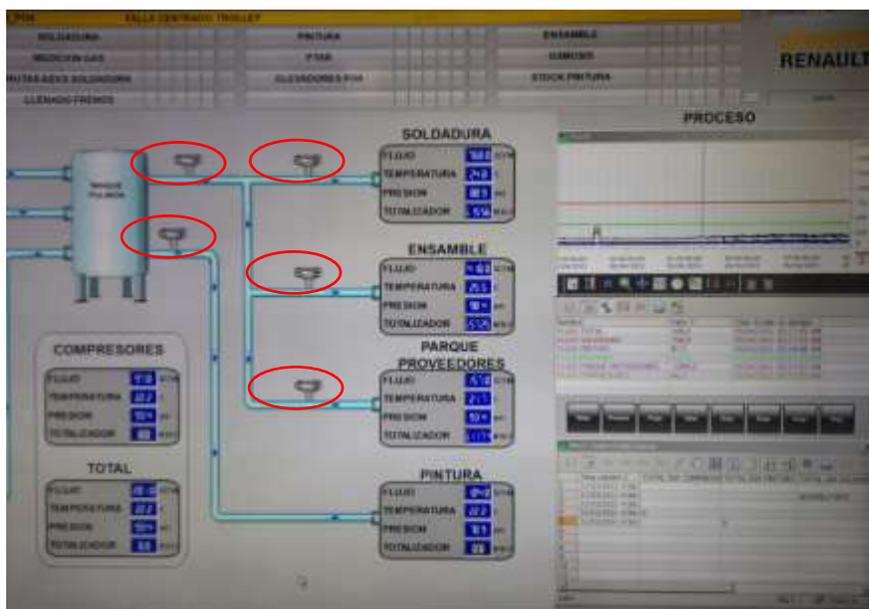


Ilustración 42. Registro en línea de variables de aire comprimido existentes (tomada de sistema de gestión energética existente en las instalaciones de RENAULT Sofasa)

Tabla 3. Propuestas de mejoras operacionales para disminución del consumo energético

TIPO	PROPÓSITO	ACCIÓN	INVERSIÓN (Mcop)	AHORRO ANUAL (KWh)	AHORRO ANUAL (Mcop)	RESPONSABLE	COMENTARIOS
MEJORAS OPERACIONALES	Disminuir los consumos de energía eléctrica por concepto de fugas de aire comprimido	Contratar Mecánicos para inspección, identificación a través de Ultrasonido y corrección de fugas de aire comprimido detectadas en los procesos de soldadura, pintura y ensamble	36	160.600	53	F. Restrepo	Se proyecta disminuir el consumo por concepto de fugas en mínimo un 30% Se encuentra en espera de validación presupuestal
	Disminuir los consumos de energía eléctrica asociados a la operación no contratada del sistema de generación de aire comprimido durante los horarios de no producción	Estandarizar operación de compresores y presiones a entregar durante los días de no producción y vacaciones	0	83.200	27,5	F. Restrepo	Con esta estandarización de definen claramente los horarios de suministro de aire comprimido durante los días de no producción
	Direccionar el aire comprimido generado para los procesos que lo requieran durante los días de no producción	Instalación de válvulas de corte para suministro sectorizado de aire comprimido durante días de no producción	20	37.440	12,5	F. Restrepo	Con esta acción no se tendría que poner en operación el compresor ZT 90 durante las horas destinadas para suministrar aire comprimido durante los días de no producción.
TOTALES			56	281.240	93		

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 4. Propuestas de mejoras de cambio de tecnología para disminución del consumo energético

TIPO	PROPÓSITO	ACCIÓN	INVERSIÓN (Mcop)	AHORRO ANUAL (KWh)	AHORRO ANUAL (Mcop)	RESPONSABLE	COMENTARIOS
MEJORA TECNOLÓGICA	Poner en operación control maestro de estación de generación de aire comprimido para garantizar la operación óptima de los equipos que la conforman	Renovar licencia de Control maestro (ES360) para estación de generación de Aire comprimido	8	72.000	24	F.Restrepo	Se encuentra en espera de validación presupuestal
	Disminuir consumo energético asociado a la generación de aire comprimido mediante la puesta en operación de un compresor tipo centrífugo capacitario para atender todo el proceso.	Compra de compresor centrífugo ZH450 y puesta del mismo como compresor titular para atender proceso	1012	436.000	144	F.Restrepo	Ya se presentó a RENAULT Central, en espera de validación presupuestal
TOTALES			1.020	508.000	168		

Tabla 5. Propuestas de mejoras de monitoreo para disminución del consumo energético.

TIPO	PROPÓSITO	ACCIÓN	INVERSIÓN (Mcop)	AHORRO ANUAL (KWh)	AHORRO ANUAL (Mcop)	RESPONSABLE	COMENTARIOS
MEJORAS DE MONITOREO	Efectuar seguimiento de consumos en cada uno de los procesos para generar concientización y planes de acción para reducir consumos	Calibrar medidores de variables aire comprimido e implementar sistemático en plan de mantenimiento preventivo	15	45.500	15	F.Restrepo	Se encuentra en espera de validación presupuestal
TOTALES			15	45.500	15		

De igual y sabiendo que “las oportunidades de mejora del desempeño energético se pueden clasificar por el nivel de inversión a realizar” (Pías & Campos, 2013, p.51), y que “la preocupación mayor de los que toman decisiones energéticas y ambientales se refiere a las inversiones necesarias” (Posada, 2014, p.246) y siguiendo los lineamientos dados también por Prías y Campos (2013) en el que indican que “estas oportunidades pueden ser registradas en una matriz de oportunidades de mejora para facilitar su manejo en la empresa hasta que formen un plan de acción” (p.52), se presenta la tabla 7 a continuación.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 6. Matriz de oportunidades de mejora

ACCIÓN	INVERSIÓN (Mcop)	AHORRO ANUAL (KWh)	AHORRO ANUAL (Mcop)	PAY BACK (Años)
Estandarizar operación de compresores y presiones a entregar durante los días de no producción y vacaciones	0	83.200	27,5	Inmediato
Renovar licencia de Control maestro (ES360) para estación de generación de Aire comprimido	8	72.000	24	0,33
Calibrar medidores de variables aire comprimido e implementar sistemático en plan de mantenimiento preventivo	15	45.500	15	1
Instalación de válvulas de corte para suministro sectorizado de aire comprimido durante días de no producción	20	37.440	12,5	1,6
Contratar Mecánicos para inspección, identificación a través de Ultrasonido y corrección de fugas de aire comprimido detectadas en los procesos de soldadura, pintura y ensamble	36	160.600	53	0,64
Compra de compresor centrífugo ZH450 y puesta del mismo como compresor titular para atender proceso	1012	436.000	144	7

con base en las políticas de retornos de la inversión que cuenta la empresa RENAULT Sofasa donde se estima que si una acción se rentabiliza en menos de 1.4 años tiene alta probabilidad que se desarrolle, se identifican de color verde las acciones que inmediata o prontamente pueden ser ejecutadas y generar ahorros a la compañía; acciones o proyectos con un Pay back superior a 1.4 años deben presentarse ante la Región y su tiempo de validación puede tomar varios meses, por tal razón se coloca en color rojo la compra de un compresor centrífugo, aunque este propuesta ya ha sido presentada y se encuentra dentro del radar de casa matriz.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusión General

La propuesta técnico económica que se genera en este trabajo basada en el análisis de GE sobre el sistema de generación de aire comprimido de las instalaciones de RENAULT Sofasa entrega ahorros potenciales globales de energía eléctrica de 834740kWh/año, disminución en el indicador de desempeño energético en 12.84kWh/Veh y ahorros monetarios de 276MCOP/año por concepto de disminución de consumo de energía eléctrica; esta propuesta presenta a su vez la ventaja de poderse ejecutar gradualmente acción por acción y pagarse cada una de las mismas con los ahorros generados.

Conclusiones complementarias

El proceso de generación de aire comprimido de las instalaciones de RENAULT Sofasa está capacitado para cubrir con los requerimientos de los procesos que se llevan a cabo al interior de la empresa, cumple con las exigencias técnicas, civiles y eléctricas exigidas para una estación de generación, la operación de sus equipos está configurada de una manera adecuada, sus 2 equipos de compresión de mayor capacidad como son el compresor ZR 400 y ZR 400VSD son equipos que la empresa RENAULT Sofasa debe contemplar la posibilidad de efectuarles mantenimientos mayores (overhauls) o cambiarlos por equipos de última tecnología, también es importante que la empresa analice la opción de contar con un secador ppal de respaldo en caso de que el actual secador KAESER deba ser sacado de su operación normal, para evitar así la presencia de humedad en el aire comprimido que se le suministra al proceso.

Se genera la LBE asociada al proceso de generación de aire comprimido de las instalaciones de RENAULT Sofasa, esta LBE permite hacer el seguimiento de los comportamientos asociados a consumo de energía eléctrica vs producción de vehículos, de igual manera facilitará el análisis de consumos energéticos y reducciones del mismo una vez implementadas una a una las propuestas

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

que se entregan en este trabajo, la LBE generada presenta una correlación de 0.985, lo cual implica una alta confiabilidad de los resultados que esta arroja.

Recomendaciones

El presente trabajo se realiza bajo una situación industrial anómala causada por la pandemia por COVID-19, este trabajo es importante replicarlo nuevamente bajo esquemas normales de producción y comparar con los resultados mostrados.

El periodo determinado para la toma de los registros de producción y consumos de energía eléctrica deben ser mínimo de 1 año, en este trabajo el periodo de toma de registros corresponde a 5 meses, lo cual impacta en los análisis estadísticos que se efectúan.

Trabajo futuro

Como continuación del presente trabajo y el cual es un proyecto piloto de gestión energética dentro de las instalaciones de RENAULT Sofasa, la acción inmediata a seguir es la presentación de los resultados generados y la búsqueda presupuestal ante el grupo RENAULT de las diferentes acciones de ahorro energético que arroja este trabajo, a su vez, se debe continuar con la identificación de procesos de alto consumo energético (energía y gas natural) al interior de las instalaciones y montar sobre estas un sistema de gestión energética que permita continuar a RENAULT Sofasa a mejorar continuamente su performance energética, una vez alcanzados estos objetivos y basados en los conocimientos presentados en la literatura especializada que indica que “Más del 80% de la energía que entra al compresor y es desperdiciada como calor puede ser recuperada para calentamiento en otros procesos” (Harding, 2007,p.4), como se indica en la diagrama Sankey presentado en la ilustración 43.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

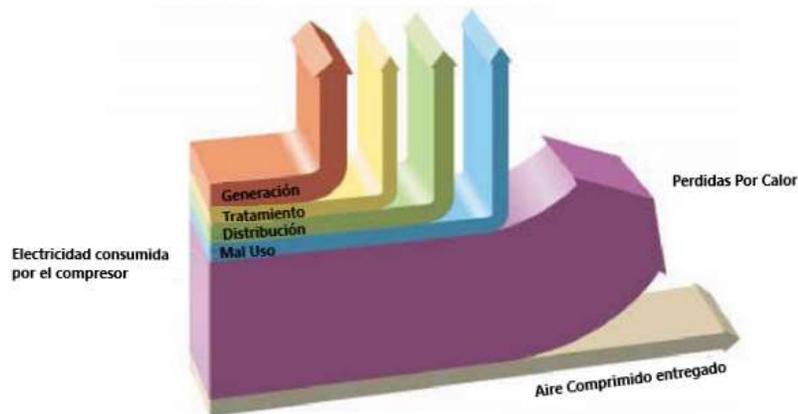


Ilustración 43. Distribución del consumo de energía eléctrica a través del proceso de generación, tratamiento y entrega del aire comprimido
https://scholar.google.com.co/scholar?q=energy+saving+potential+by+optimising+the+process+of+air+generation+and+consumption&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

Se procederá a efectuar un estudio que permita analizar la posibilidad de utilizar el calor residual generado por los compresores para el precalentamiento de agua destinada para el Túnel de tratamiento de superficies, agua que actualmente es calentada a través de una caldera abastecida por de gas natural.

El alcance de este trabajo no incluyó la especificación ni la metodología para generar los indicadores de desempeño energético (IDE) que son “aquellos que se establecen con el fin de realizar un seguimiento, monitoreo y control del desempeño energético” (Pías & Campos, 2013, p.66) pero que para la siguiente etapa de la implantación de una política energética al interior de las instalaciones de RENAULT Sofasa serán de suma importancia para observar la eficiencia, el uso y el consumo de la energía dentro del proceso de la generación de aire comprimido, permitirá esto entonces evaluar los cambio de consumo respecto a la línea base establecida y la eficacia de las acciones implementadas en aras de la optimización de los consumos energéticos.

Para finalizar y también de suma importancia es la necesidad de establecer estrategias y procedimientos que permitan garantizar que todo el personal propio o contratista que trabaja en las instalaciones de RENAULT Sofasa tome conciencia de la vital importancia de implementar

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

un sistema de Gestión energética (SGE) y de los beneficios que esto conlleva a la organización para la cual laboran y para el medio ambiente.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

- Cabellos Eras, J J., Gutierrez Sagastume, A., Sousa Santos, V., y Cabello Ulloa, M J. (2020). Energy management of compressed air systems. Assessing the production and use of compressed air in industry. *Energy*, 213, 118662.
- Bonfa, F., Benedetti, M., Ubertini, S., Introna, V., y Santolamazza, A. (2019). New efficiency opportunities arising from intelligent real time control tool applications: the case of compressed Air Systems' energy efficiency in production and use. *Energy Procedia*, 158, 4198-4203.
- Benedetti, M., Bonfa, F., Bertini, I., Inrola, V., y Ubertini, S. (2018). Explorative study on Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use: First steps towards the creation of a benchmarking system for large and energy-intensive industrial firms. *Applied Energy*, 227, 436-448.
- Benedetti, M., Bertini, I., Bonfa, F., Ferrari, S., Inrola, V., Santino, D., y Ubertini, S. (2017). Assessing and improving Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use: findings from an explorative study in large and energy-intensive industrial firms. *Energy Procedia*, 105, 3112-3117.
- Mousavi, S., Kara, S., y Kornfeld, B. (2014). Energy Efficiency of Compressed Air Systems. *Procedia CIRP*, 15, 313-318.
- Castrillón, R., y Gonzalez, A J, (2019), *Metodología para la planificación energética a partir de la norma ISO 50001*, Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- Kaeser Compresores (2012). Manual Seminario de Aire Comprimido. Recuperado de: <https://co.kaeser.com/recursos-de-aire-comprimido/descargas/libro-electronico/engineering-handbook.aspx>
- L, Pingping., y C, Maolin. (2011). Study on Compressed Air Leak Detection Using Ultrasonic Detection Technology Instrument. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 1690-1693.
- Atlas Copco (2011). Manual de Aire comprimido 2011. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/224846032/Manual-de-aire-comprimido-Atlas-Copco-Es-pdf>
- Harding, E.C. (2007). Energy saving potential by optimising the process of air generation and consumption. *IEEEXplore*.1-7.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Sanchez Rivero, J. M. (2021). *ISO 50001:2018 Sistemas de gestión de la energía* ((1.ª ed.). España. Publicación independiente.

Billep, J., y Fleischhacker, H., (2013), *Libro blanco Reducción de hasta el 60% en los costes energéticos de los sistemas de aire comprimido*, Berlín, Alemania: Festo

Groupe Renault. (2019). *Energy Report 2019*. Publicación independiente

Prías Caicedo, O., y Campos Avella, J., (2013). *Implantación de un sistema de gestión de la energía. Guía con base en la norma ISO 50001*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética.

FIRMA ESTUDIANTES



FIRMA ASESORES



Se entrega monografía para ser evaluada por primera vez

FECHA ENTREGA: 24/6/21