

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**Efecto del cambio de motocompresores por  
electrocompresores en el desempeño energético de Astillero  
Ferroles**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA**

**AUTORES:**

Bach. Baltodano Loloy, Ronaldo Jorjhino  
Bach. Ayasta Anticona, Chrystopher Stadman

**ASESOR:**

Mg. Guevara Chinchayan, Robert Fabian  
DNI 32788460  
Código ORCID: 0000-0002-3579-3771

**Nuevo Chimbote-Perú**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento a los objetivos propuestos y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado con las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D: N°580-2022-CU-R-UNS) según la denominación siguiente

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA**

**Efecto del cambio de motocompresores por electrocompresores en el  
desempeño energético de Astillero Ferroles**

**AUTORES :**

Bach. Baltodano Loloy, Ronaldo Jorjhino  
Bach. Ayasta Anticona, Chrystopher Stadman

-----  
Mg. Guevara Chinchayan, Robert Fabian  
DNI 327888460  
Código ORCID: 0000-0002-3579-3771



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA E.P. INGENIERÍA EN ENERGÍA

---

### ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

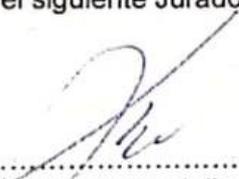
El presente jurado evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al reglamento General para obtener el grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D N°580-2022-CU-R-UNS); titulado:

Efecto del cambio de motocompresores por electrocompresores en el desempeño energético de Astillero Ferroles

#### Autores:

Bach. Baltodano Loloy, Ronaldo Jorjhino  
Bach. Ayasta Anticona, Chrystopher Stadman

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador.

  
.....  
MSc. Escate Ravello, Julio Hipólito Nestor  
Presidente  
Código ORCID: 0000-0001-9950-2999  
DNI 32850228

  
.....  
Mg. Perez Pinedo, Oscar Fernando  
Secretario  
DNI 32739412  
Código ORCID: 0000-0002-5780-6115

  
.....  
Mg. Guevara Chinchayán, Robert Fabian  
Integrante  
DNI 32788460  
Código ORCID: 0000-0002- 3579-3771

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 a.m., del día miércoles 18 del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 723-2024-UNS-CFI de fecha 07.11.24, integrado por los siguientes docentes:

- M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello : Presidente
- Mg. Oscar Fernando Pérez Pinedo : Secretario
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán : Integrante

Y según la Resolución Decanal N°813-2024-UNS-FI de fecha 05.12.24, se DECLARA EXPEDITO a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: "EFECTO DEL CAMBIO DE MOTOCOMPRESORES POR ELECTROCOMPRESORES EN EL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DEL ASTILLERO FERROLES", perteneciente a los bachilleres: BALTODANO LOLOY RONALDO JORHINO con código de matrícula N°00201511015 y AYASTA ANTICONA CHRYSOTOPHER STADMAN código de matrícula N°0201411035, teniendo como asesor al docente Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán, según Resolución Decanal N°887-2023-UNS-FI de fecha 22.12.23.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
AYASTA ANTICONA CHRYSOTOPHER STADMAN	81.20 (80%)	BUENO

Siendo las 11:00 p.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello  
PRESIDENTE

Mg. Oscar Fernando Pérez Pinedo  
SECRETARIO

Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
INTEGRANTE

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 a.m., del día miércoles 18 del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 723-2024-UNS-CFI de fecha 07.11.24, integrado por los siguientes docentes:

- M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello : Presidente
- Mg. Oscar Fernando Pérez Pinedo : Secretario
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán : Integrante

Y según la Resolución Decanal N°813-2024-UNS-FI de fecha 05.12.24, se DECLARA EXPEDITO a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: "EFECTO DEL CAMBIO DE MOTOCOMPRESORES POR ELECTROCOMPRESORES EN EL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DEL ASTILLERO FERROLES", perteneciente a los bachilleres: BALTODANO LOLOY RONALDO JORHINO con código de matrícula N°00201511015 y AYASTA ANTICONA CHRYSTOPHER STADMAN código de matrícula N°0201411035, teniendo como asesor al docente Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán, según Resolución Decanal N°887-2023-UNS-FI de fecha 22.12.23.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
BALTODANO LOLOY RONALDO JORHINO	DIECIOCHO (10)	BUENO

Siendo las 11:00 p.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello  
PRESIDENTE

  
Mg. Oscar Fernando Pérez Pinedo  
SECRETARIO

  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
INTEGRANTE



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Ronaldo Ba /  
Título del ejercicio: INFORMES  
Título de la entrega: Efecto del cambio de motocompresores por electrocompres...  
Nombre del archivo: TESIS\_BALTODANO-AYASTA.docx  
Tamaño del archivo: 9.61M  
Total páginas: 153  
Total de palabras: 27,193  
Total de caracteres: 150,855  
Fecha de entrega: 17-ene.-2025 02:04p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2499148262

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



Efecto del cambio de motocompresores por  
electrocompresores en el desempeño energético de Astillero  
Ferreña

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA

**AUTORES:**

Bach. Bohoslav Lohy, Ronaldo Jayhino  
Bach. Ayala Ankoona, Christopher Stadman

**ASESOR:**

Mg. Guisela Cristóbal, Raquel Faján  
DNI 37780460  
Código CRIC: 0300-0002-3679-0771

Hecho Chiclaya-Perú  
2025

## Efecto del cambio de motocompresores por electrocompresores en el desempeño energético de Astillero Ferroles

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>23%</b>	<b>23%</b>	<b>1%</b>	<b>%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>9%</b>
<b>2</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>compressors.cp.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.utec.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.ucsg.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>tem-sl.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.uide.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

## DEDICATORIA

Antes que todo a Dios por darme la vida y una familia maravillosa

En quienes descansa la fortaleza y dedicación

Que pongo todos los días

A mi Sr. Padre: Miguel Baltodano More,

a mi madre la Sra. Dora Loloy Chávez

A mi hermana: Maryorit Baltodano Loloy.

Y mis Abuelos: Mirta, Miguel, Pedro y Francisca.

R.J.B.L

## DEDICATORIA

A Dios primero, por sus bendiciones diarias  
a todos integrantes de mi familia  
que son el pilar y sustento de mis actividades.

Para mi Padre: Jorge Ayasta Llenque

Mi Madre: Ruth Anticona Mendieta

Mi Hermana: Raysa Ayasta Anticona

Y mi Novia: Chabely Moreno Cruz

C.S.A.A

## RECONOCIMIENTO

Agradecimiento a mi asesor Mg. Robert Guevara Chinchayan, por su invaluable asesoría y guía en la realización de la presente tesis que es la culminación de un importante paso en mi vida profesional.

El agradecimiento a mis docentes de mi alma mater la Escuela de Ingeniería en Energía por sus enseñanzas académicas y éticas en mi desarrollo personal.

Y con mucho afecto para mis compañeros de mi centro laboral y de mi alma mater por su compañerismo de todos los días.

R.J.B.L

## RECONOCIMIENTO

Mi agradecimiento al Mg. Robert Fabian Guevara Chinchayan por su importante asesoría y brindarme los conocimientos para la culminación de mi tesis.

Mi gratitud a mis profesores de la Universidad Nacional del Santa y de la Escuela de Ingeniería en Energía por las enseñanzas invaluable, en realizar de mi persona, un profesional al servicio de mi país.

Para mis compañeros de promoción y de trabajo que contribuyeron con mi tesis.

Atentamente,

C.S.A.A

## INDICE GENERAL

### INDICE

### RESUMEN

I.	INTRODUCCIÓN.	1
1.1	Realidad Problemática	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Justificación	4
1.4	Hipótesis	5
1.5	Objetivos	5
II.	MARCO TEÓRICO.	6
2.1	Compresores	6
2.2	Accionamiento de compresores	31
2.3	Desempeño energético	38
2.4	Evaluación energético	48
III.	MATERIAL Y MÉTODO	51
3.1	Material	51
3.2	Método	57
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1	Análisis del desempeño con motocompresores	64
4.2	Dimensionamiento del sistema de aire comprimido con electrocompresor	69
4.3	Análisis del desempeño con electrocompresores	83
4.4	Estimación de los beneficios energéticos, económicos y ambiental por el cambio de tecnología de compresores.	89
4.5	Discusión de resultados	93
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
5.1	Conclusiones	96
5.2	Recomendaciones	97
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
VII.	ANEXOS	105

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estación de generación de aire comprimido	9
Figura 2 Clasificación de compresores	10
Figura 3 Depósitos de aire comprimido	12
Figura 4 Red de distribución de aire comprimido	13
Figura 5 Red de distribución de aire comprimido-Tuberías primarias y secundarias	15
Figura 6 Unidad de tratamiento de aire comprimido	17
Figura 7 Principio de funcionamiento de un compresor de pistón	18
Figura 8 Compresión y descompresión del gas en espacio muerto	19
Figura 9 Compresor de 1 etapa de pistón	20
Figura 10 Compresor de 2 etapa de pistón	21
Figura 11 Compresor de tornillo	23
Figura 12 Funcionamiento de un compresor de tornillo lubricado	24
Figura 13 Procesos del compresor de tornillo.	26
Figura 14 Arquitectura de un compresor de tornillo	28
Figura 15 Motocompresores	32
Figura 16 Electrocompresores	34
Figura 17 Línea Base Energética	41
Figura 18 Nivel de Complejidad para elaborar una línea base energética	42
Figura 19 Límites del coeficiente de correlación $r^2$	43
Figura 20 Estrategias para alcanzar mejoras en los IDEs	45
Figura 21 Motocompesor XAS 186 Atlas Copco	52
Figura 22 Motocompesor XAMS 407 Atlas Copco	52
Figura 23 Electrocompresor LS160S Sullair	56
Figura 24 Secuencia metodológica para determinación del desempeño energético con motocompresores	58
Figura 25 Secuencia metodológica para determinación del desempeño energético con electrocompresores	63
Figura 26 Línea base energética de IDEs 1 con motocompresores	65
Figura 27 Línea base energética de IDEs 2 con motocompresores	67
Figura 28 Línea base energética de IDEs 3 con motocompresores	69
Figura 29 Detalles de red de alimentación a punto de consumo	75
Figura 30 Unidad de Mantenimiento MSB6-1/2:C3J1M1-WP	76

Figura 31 Características de operación de compresor comercial LS90S	80
Figura 32 Características de operación de compresor comercial LS160S	81
Figura 33 Efecto de la potencia del motor del compresor en la facturación mensual	82
Figura 34 Línea base energética de IDEs 1 con electrocompresores	85
Figura 35 Línea base energética de IDEs 2 con electrocompresores	86
Figura 36 Línea base energética de IDEs 3 con electrocompresores	88

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones técnicas de Motocompresor XAS 186 Atlas Copco	51
Tabla 2 Especificaciones técnicas de Motocompresor XAMS 407 Atlas Copco	53
Tabla 3 Especificaciones técnicas de Electrocompresor LS90S	54
Tabla 4 Especificaciones técnicas de Electrocompresor LS160S	55
Tabla 5 Información de operación Agosto 2022-Abril 2023-Combustible	56
Tabla 6 Información de operación Agosto 2022-Abril 2023-Tonelaje	57
Tabla 7 Resultados del IDEs1 con motocompresores	64
Tabla 8 Resultados del IDEs2 con motocompresores	66
Tabla 9 Resultados del IDEs3 con motocompresores	68
Tabla 10 Requerimiento de aire comprimido por uso	70
Tabla 11 Requerimiento de aire comprimido por uso	70
Tabla 12 Selección del diámetro de tubería comercial y verificación de la velocidad del aire comprimido	73
Tabla 13 Caída de presión en los tramos de la red de distribución de aire comprimido	79
Tabla 14 Estadísticas de procesamiento de embarcaciones 2023-2024	83
Tabla 15 Resultados del IDEs1 con electrocompresores	84
Tabla 16 Resultados del IDEs2 con electrocompresores	86
Tabla 17 Resultados del IDEs3 con electrocompresores	88
Tabla 18 Beneficios energéticos por el cambio de tecnología de compresores	90
Tabla 19 Beneficios económicos por el cambio de tecnología de compresores	91
Tabla 20 Beneficios ambientales por el cambio de tecnología de compresores	92

## RESUMEN

Los compresores son empleados en el sector industrial para generar aire comprimido, su accionamiento puede ser a través de motocompresores consumiendo petróleo BD5 o electrocompresores operando con energía eléctrica suministrado por la red eléctrica externa.

El trabajo de investigación es del tipo pre -experimental, de naturaleza descriptiva. El diseño de la investigación pre- experimental. Siendo la muestra el Astillero Ferroles a quien se realiza el cambio de matriz energética por cambio de motocompesores por un electrocompresor.

Se realizo el dimensionamiento de la red de aire comprimido, cambiando la matriz energética desde petróleo BD5 a energía eléctrica de la red exterior, seleccionando un compresor de tornillo LS90S con un depósito de 5 000 litros de capacidad y redes de aire comprimido para 2 circuitos (cada uno de ellos con 2 suministros para pintado y 2 para arenado) , obteniéndose una caída de presión máxima hasta el punto más alejado del punto de ubicado en la sala del compresor hasta el punto de pintado 4 de 6,91 %. Se han estimado los beneficios energéticos, económico y ambiental del cambio de matriz energética y tecnología de compresores, obteniéndose los siguientes resultados: para la reducción de energía equivalente de petróleo BD5 es de 2 794,2 galones equivalentes/año, 81 939,15 Soles por reducción en la facturación anual acumulada y 90,25 Ton. CO<sub>2</sub> dejados de emitir al año.

**PALABRA CLAVE:** Compresores de tornillo, compresores de pistón, eficiencia energética.

## **ABSTRACT**

Compressors are employed in the industrial sector to generate compressed air, their actuation can be through motor compressors consuming BD5 oil or electrocompressors operating with electric power supplied by the external power grid.

The research work is of the pre -experimental type, descriptive in nature. The design of the pre- experimental research. Being the sample the Ferroles Shipyard to whom the change of energy matrix is carried out by changing motor chargers by an electrocharger.

The sizing of the compressed air grid is carried out, changing the energy matrix from BD5 oil to electrical energy from the outside grid, selecting a LS90S screw compressor with a 5 000 liters capacity tank and compressed air grids for 2 circuits ( each of them with 2 supplies for painting and 2 for sanding) , obtaining a maximum pressure drop up to the farthest point from the located point in the compressor room up to painting point 4 of 6.91 %. The energy, economic and environmental benefits of changing energy matrix and compressor technology have been estimated, obtaining the following results: for oil equivalent energy reduction BD5 is 2 794.2 equivalent gallons/year, 81 939,15 Soles due to reduction in annual accumulated turnover and 90.25 Ton. CO2 stopped emitting to the year.

**KEYWORD:** Screw compressors, piston compressors, energy efficiency.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Realidad problemática**

El aire comprimido, es un insumo energético, está conformado por gran parte de hidrogeno, oxígeno y vapor de agua. Se produce un aumento de temperatura cuando el aire es comprimido, y la presión del aire aumenta. En muchos sectores industriales aún persiste el uso de motores de combustión interna en el accionamiento de compresores (independientes de su tecnología: pistón o tornillo). El combustible empleado es petróleo BD5 para unidades de compresión de mediana y alta capacidad, mientras que en sistemas de baja capacidad se emplea el Gasohol como combustible. Los combustibles tradicionales empleados están sujetos a la problemas de la oferta de la demanda, generalmente en alza lo que hace impredecible determinar indicadores de productividad de referencia para poder analizar el desempeño energético de los sistemas de generación de aire comprimido. Del mismo modo los combustibles tradicionales derivados de los hidrocarburos son grandes generadores de emisiones de dióxido de carbono que contribuyen al calentamiento global y el efecto invernadero, con grandes consecuencias y deterioro del medio ambiente.

El uso de los motocompresores implica un trato especial a la operación del motor de combustión interna que acciona al compresor, en lo referente al desempeño, que requiere un control de los sistemas conformantes del motor, principalmente el sistema de enfriamiento y lubricación, así como se requiere un mayor énfasis en el mantenimiento preventivo, con lo cual los costos de mantenimiento son mayores que los motores eléctricos. Esto último afecta a los indicadores de desempeño energético a diferencia de aquellos compresores accionados por motores eléctricos, cuyo suministro es a través de red externa del sistema interconectado nacional, donde el costo de la energía es función del precio del gas natural, cuyo costo unitario es mucho menor que el costo unitario del petróleo BD5. Los costos por consumo de energía, ya sea energía eléctrica o petróleo, este ligado a la variabilidad de estos, a pesar de ser los precios del mercado regulado provienen del sistema eléctrico interconectado nacional, y cualquier reducción de consumo de combustible está asociado a la reducción de gases de invernadero, tratando de este modo de identificar cual es la relación de la generación de aire comprimido con la menor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

Según lo considerado en la realidad problemática se plantea lo siguiente:

¿Cuál es el efecto del cambio de motocompresores por electrocompresores en el desempeño energético de Astillero Ferroles?

## **1.2 Antecedentes:**

Se presentan los antecedentes para el presente informe:

Alor, L. (2019) en su tesis para la Universidad Tecnológica del Perú concluye que la implementación de un nuevo dimensionamiento de generación y distribución de aire comprimido con motores eléctricos mejora el rendimiento del sistema. Al realizar el rediseño e implementación del sistema de distribución de aire comprimido optimiza el sistema de almacenamiento instalando en red tipo anillos los tanques de almacenamiento. Se consiguió un incremento de capacidad de 8.5 m<sup>3</sup> que significa un incremento del 425 %, se obtuvo como resultado la optimización de los tiempos de carga en 70% y de descarga 30% en promedio de los compresores de aire comprimido. El mejoramiento del sistema de generación con las conexiones de las tuberías en red de distribución en arquitectura en anillo, se consigue con una presión constante. Cuando se opera los equipos a una presión uniforme de 30 bar en el complejo de generación, se logró reducir la reducción de presión de a un valor menor de 1.0 bar.

Bejarano, M. (2011) en su tesis Optimización técnico - económica del consumo de energía eléctrica del sistema de aire comprimido del astillero Sima Chimbote para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del santa en Perú, concluye que el consumo diario de promedio energía eléctrica por generación de aire comprimido asciende a 2,817 m<sup>3</sup> lo que significa un costo diario 30.79 US\$. Para la optimización técnico-económica del consumo de energía eléctrica del sistema de aire comprimido se aplicaron dos técnicas; la primera consistió en un reemplazo de un compresor de tipo pistón por uno tipo tornillo de 2 etapas con un motor de alta eficiencia, la segunda técnica fue redimensionar la red de tuberías del sistema de aire comprimido que alimenta al patio de construcciones y modificaciones. El reemplazo de un compresor tipo pistón por uno del tipo tornillo con motor de alta eficiencia significó una inversión de 85 274 US\$, con un periodo de recuperación de 4,58 años. Se estima un ahorro de energía eléctrica anual de 220 870 KWh.

Blanca, F. (2022) en su tesis para la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile concluye que según lo recomendado por la empresa Ingersoll Rand, los cuales, realizando un amplio diagnóstico en los sistemas de aire comprimido con motores

eléctricos de baja capacidad, se garantizan un aumento de 50% en el rendimiento del desempeño del sistema de aire comprimido, con los siguientes resultados: Dimensionamiento del sistema: Incremento de 15-20%. Maquina: incremento de 15-20%. Operación y Mantenimiento: incremento de 20-30%. Y la proyección referente a costos en un lapso de 5 años en sistemas de aire comprimido se asume que se alcanza unos porcentajes de en energía el 80% , compra 10%, Mantenibilidad 7% y Montaje 3%.

García, A. (2024) en su tesis Efecto de la inyección de condensado presurizado en los indicadores de desempeño energético de generadores de vapor pirotubulares para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del santa en Perú, concluye que el desempeño energético debe evaluarse bajo tres criterios: el técnico, económico y ambiental. Determinadose los siguientes valores, el indicador de desempeño económico mejora en 6.4%, el indicador de desempeño energético técnico de 4,1% y el indicador de desempeño energético ambiental en 3,2%.

Hernández, J. (2012) en su tesis para el Centro avanzado de Materiales en México concluye que los motores montados en compresores alcanzan rendimientos de 85% reduciendo la ratio de consumo energético en 161 783.13 kWh por motor eléctrico al año. El reemplazarlos por uno 95% de rendimiento, el consumo energético de horas de uso es de 141 347,37 kWh. La diferencia de consumos es 20 435,76 kWh, con una reducción de costos de 32 157,70 pesos por motor al mes. Se instalaron en total 3, lo cual da una reducción de la facturación en 96 473,09 pesos.

Moreno, M. (2018) en su tesis para la Universidad Católica Santa María en Perú concluye que aplicándose un sistema de control de gestión de la energía como parte de la mejora continua se optimizo el consumo energético de energía eléctrica mediante un sistema planificado en la operación, consiguiendo entre mayo a diciembre del 2017 una reducción de costos de 8,46% en relación al año 2016. La implementación de la gestión de la energía permite el ahorro significativo del consumo de energía eléctrica en 473 800 kWh /año, y mejora el ritmo de operación en 212 minutos diarios en el proceso estratégico planteado, con lo cual se optimiza el desempeño energético, comparable con el desempeño de motocompresores.

Palacios, J. (2019) en su trabajo de investigación para la Universidad de Chile que concluye la empresa en la cual se realizó el análisis energético tiene una ratio de 1,8 MMkWh/año en la cual el aire comprimido es vital, importancia para la operación,

pero con un porcentaje de 25% de los costos. El sistema de aire comprimido cuenta con dos compresores de idénticas características con una producción media de 704,1 Nm<sup>3</sup>/h y sus aplicaciones en el proceso productivo se realizan en accionamiento de mecanismos y válvulas, pistolas neumáticas, limpieza de filtros, instrumentos y control automático de variables. A diferencia de un compresor accionado por un motor de combustión interna para las mismas condiciones operativas presenta costos mucho mayores.

Procil, M. (2020) en su tesis para la Universidad Tecnológica del Perú concluye que se determinó que la máxima demanda de aire comprimido requerido es de 870,7 m<sup>3</sup>/h y la menor demanda es 186,62 m<sup>3</sup>/h, mediante la operación de 2 compresores. Referente al desempeño energético el costo de generación de aire comprimido en la planta de pinturas presenta un KPI de 0,0152 USD/m<sup>3</sup>. Se determina que la facturación por generar el aire comprimido de la casa de electrocompressors es de \$ 5 000, representando la sexta parte del consumo de energía mensual en toda la planta. Comprobándose luego del benchmarking que la planta de pinturas puede operar con solo 2 compresores con una alta disponibilidad, confiabilidad y seguridad en el suministro.

### **1.3 Justificación:**

Se justifica por lo siguiente:

La eficiencia de los equipos consumidores de energía juega un papel muy importante al evaluar el desempeño energético, en este caso para una sala de compresores, así tenemos para un sistema de motocompresores( compresores accionados por un m.c.i) se tiene en cuenta la eficiencia de in motor de combustión interna es cercano a 30% , mientras que un compresor su eficiencia es cercana a 85% , con lo cual la eficiencia global del sistema energético es del orden de 25,5%, a diferencia de los electrocompressors (accionados por motores eléctricos de eficiencia convencional hasta de alta eficiencia), se tiene una eficiencia del motor eléctrico de 90% y la eficiencia del compresor es del orden de 85%, con lo cual el rendimiento total del sistema energético de compresión de aire es 76,5%. Con lo cual se consigue un menor consumo de energía primaria entrante al compresor. Del mismo modo los costos operativos se reducen, y el efecto al medio ambiente se reducen al tenerse una menor emisiones de dióxido de carbono emitidas al medio ambiente. Lo que trae como

resultado un mejor desempeño energético evaluado a través de sus indicadores de desempeño. Del mismo modo la operación y mantenimiento de electrocompresores es mucho menor que los motocompresores, al tener el primero menor número de piezas móviles, con lo cual los costos por repuestos son mucho menores.

### **1.5 Hipótesis:**

El Efecto del cambio de motocompresores por electrocompresores en los indicadores de desempeño energético de Astillero Ferroles en 5%.

### **1.6 Objetivos:**

#### **Objetivo general**

Determinar el efecto del cambio de motocompresores por electrocompresores en el desempeño energético de Astillero Ferroles.

#### **Objetivos específicos:**

- Determinar el desempeño energético en la red de aire comprimido de Astillero Ferroles operando como motocompresores.
- Dimensionar el sistema de aire comprimido de la sala de compresores de Astillero Ferroles.
- Determinar el desempeño energético en la red de aire comprimido de Astillero Ferroles operando como electrocompresores.
- Estimar los beneficios energéticos, económico y ambiental del cambio de tecnología de compresores.

## **II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Compresores.**

#### **2.1.1 Aire comprimido.**

El aire comprimido es un fluido energético obtenido a través de la compresión del aire atmosférico hasta una presión que permite su uso como insumo energético para sistemas de control, pintado, arenado, entre otras actividades, esta actividad se realiza a través de compresores. El aire comprimido fluye a altas velocidades y su uso se analiza según la neumática. El compresor es el equipo de mayor relevancia en una estación de producción de aire comprimido, los compresores aspiran aire en condiciones normales de presión y temperatura atmosférica y lo comprime a una presión mayor. Los parámetros relevantes que se valoran en cada componente son: el flujo generado en  $\text{Nm}^3/\text{min}$  y la relación de compresión, que está relacionada en el rendimiento del compresor. (Procil, 2020)

Los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles, tales como el aire que es el fluido comprimido con mayor frecuencia, pero también se comprimen el gas natural, el oxígeno, el nitrógeno, y otros gases de importancia industrial. Esto se realiza mediante un trabajo ejercido por el compresor que es transferido a la sustancia que pasa por él, convirtiéndose en energía de flujo, aumentando la presión y energía cinética del fluido. La energía necesaria para efectuar este trabajo la proporciona un motor eléctrico o de combustión interna. (Toapanta, 2009)

El fluido en estado gaseoso comprimido tiene diferentes usos:

- Transmisión de potencia (generación eléctrica).
- Proporcionar aire para la combustión.
- Circulación neumática a través de un proceso o neumática industrial.
- Operación de instrumentos o electroneumática. (Toapanta, 2009)

La neumática es una de las tecnologías que está usando al aire de la atmosfera para comprimirlo y hacer mover una carga, al comprimir el aire, estamos haciendo una práctica de almacenar energía mecánica, que puede ser utilizada para producir algún movimiento o trabajo. Dicho aire se comprime presionando las paredes del recipiente. Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos. (Reynaldo, 2018)

La tecnología neumática tiene como enfoque el estudio del comportamiento y aplicación del aire comprimido, ya que ciertas características de este lo convierten en una herramienta útil para la fabricación y producción. La neumática ofrece en la industria ventajas de operación considerables en la elaboración de sus productos tales como disponibilidad, compresibilidad y mantenimiento fácil del aire, facilidad de transporte, es a prueba de incendios y explosiones y es de fácil control. (Centeno & Jiménez, 2010)

La fuerza neumática puede realizar muchas funciones mejor y más rápidamente, de forma más regular y sobre todo durante más tiempo sin sufrir los efectos de la fatiga. Se considera que los circuitos neumáticos son sencillos, de fácil instalación y aplicación industria. Esta tecnología tiene su ventaja más importante en la flexibilidad y variedad de aplicaciones en casi todas las ramas de la producción industrial. (Centeno & Jiménez, 2010)

La neumática tiene como deficiencia que en producen pérdidas de cargas considerables, generando altos niveles de ruidos producidos por la descarga del aire hacia la atmósfera, las presiones a las que trabajan normalmente no permiten aplicar grandes fuerzas, mucha potencia y exactitud en sus operaciones medio y tal vez la mejor opción, dependiendo de las características del trabajo, para suministrar energía. (Centeno & Jiménez, 2010)

El aire comprimido es la mayor fuente de potencia en la industria con múltiples ventajas. Es segura, económica, fácil de transmitir movimientos con velocidad. Su aplicación es muy amplia para un gran número de industrias. Algunas aplicaciones son prácticamente imposibles con otros medios energéticos. El costo del aire comprimido es relativamente económico frente a las ventajas de la productividad que representa Para garantizar la fiabilidad de un mando neumático es necesario que el aire alimentado al sistema tenga un nivel de calidad suficiente. Ello implica considerar los siguientes factores:

- Presión correcta.
- Aire limpio.
- Aire seco.

Si no se acatan estas condiciones es posible que se originen tiempos más prolongados de inactivación de las máquinas y, además, aumentarán los costos de servicio. (Centeno & Jiménez, 2010)

Existen compresores móviles de baja capacidad que son transportados directamente a los puntos de consumo y compresores estáticos instalados en una estación. En gran parte de los complejos industriales, se emplean compresores estáticos, que producen altos flujos de aire y mayor presión de servicio, estas se encuentran acondicionadas en salas especiales y alejadas en lo posible de los puntos de consumo, ya que producen elevados niveles de ruido, se tiene un sistema enfriamiento con aire por convección natural o forzada. El caudal de aire generado por el compresor es función de la demanda requerida de aire comprimido, manteniéndose la presión dentro de un rango de trabajo. El presostato controla el valor de la presión del sistema, alertando al compresor en los casos de que la presión alcanza un valor debajo del límite inferior y cuando sobrepasa el límite superior, arrancando y apagándose el motor eléctrico del compresor. (Blanca, 2022)

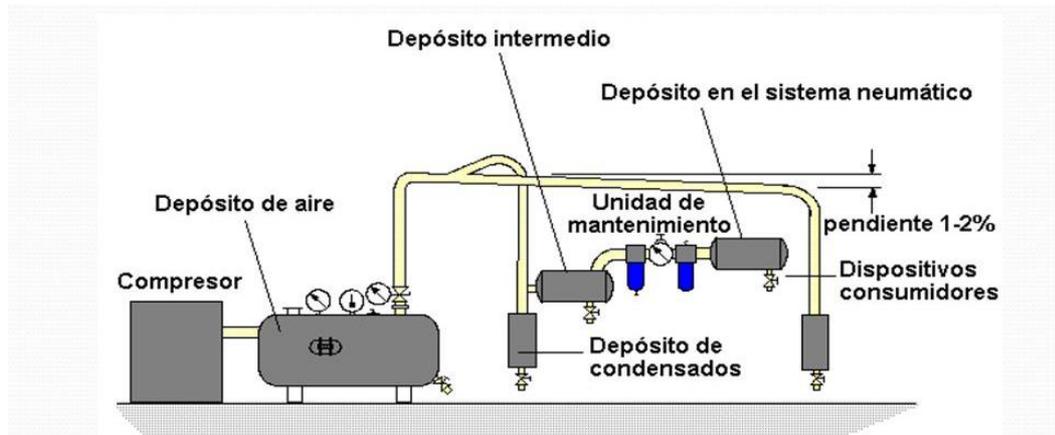
La producción de aire comprimido, utiliza como materia prima el aire que es obtenido de compresores. Un sistema neumático está compuesto por acondicionador de aire, depósito acumulador, redes de distribución, aplicaciones neumáticas que se constituyen por elementos de control, diferentes actuadores y por un compresor. Los compresores son sistemas que elevan la presión del aire que absorben del ambiente hasta el valor que se desee. Para instalaciones neumáticas es óptimo utilizar compresores que puedan crear, almacenar y regula el suministro de aire comprimido a los diferentes dispositivos que necesitan del aire comprimido para su funcionamiento. El valor total que se necesita para las instalaciones neumáticas se lo determina mediante el aire comprimido que fluye por una sección de trabajo por el tiempo. (Vera, 2018)

Se debe tomar en cuenta el lugar donde serán instalados estos sistemas de aire comprimido, ya que deben estar en un lugar donde no haya mucho polvo y fresco (mientras se más fresco, mejor para el sistema). El aire comprimido que es recolectado del exterior pasa un por un filtro que quita toda las impurezas que contenga el mismo, una vez que el aire está limpio pasa por la cámara de compresión (lugar en donde será

comprimido el aire), y después es enviado a un depósito que contiene una salida regulable del aire, esta salida es conectada a la instalación neumática, cabe recalcar que este depósito tiene otra salida por la cual se elimina el agua que se genera por efecto de la condensación. (Vera, 2018)

Figura 1

*Estación de generación de aire comprimido*



*Nota.* Imagen tomada EDE Ingenieros (2020)

Los compresores presentan componentes de seguridad y de supervisión de generación del aire comprimido, así tenemos:

Sistema de regulación de presión. Permite el control de la presión del circuito de aire comprimido a través de la llave de cierre rápido y además debe contar con un manómetro para lectura de la presión de servicio.

El reóstato. Tiene por finalidad mantener el valor de presión en el interior del depósito de aire comprimido de acuerdo a los valores requeridos en simultaneo opera con el manómetro y del sistema de control. Es recomendable tener un sensor de este tipo para evitar un incremento de presión que puede colapsar al depósito de aire,

Válvula de seguridad. Es un sistema de seguridad que se activa mecánicamente ante sobrepresiones, liberando al aire comprimido al medio ambiente. (Vera, 2018)

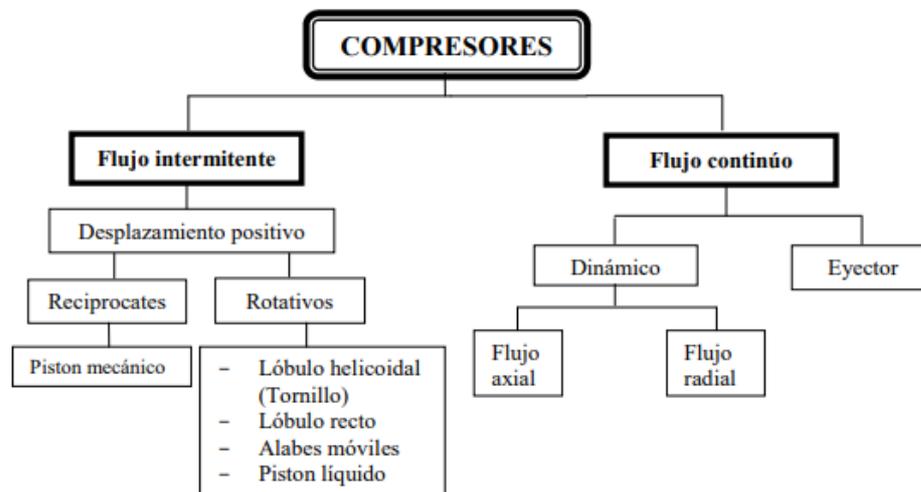
El aire comprimido se analiza empleando la ley de los gases ideales en un proceso adiabático e isobárico. La mayor parte de los gases reales, varían su estudio con respecto a los gases ideales hasta valores de presiones intermedias, para ello se deben emplear para solución las tablas de propiedades termodinámicas, los diagramas de Mollier, diagramas

de compresibilidad o se sugiere la aplicación de un factor de compresibilidad. (Toapanta, 2009)

Los compresores se clasifican según su arquitectura interna y el flujo que operan, lo que va dar lugar una variabilidad de configuraciones internas agrupados en flujo variable y continuo, se presenta la siguiente clasificación:

Figura 2

*Clasificación de compresores*



*Nota.* Imagen tomada de Bejarano (2011)

Compresores de flujo discontinuo, o llamados de ciclo natural, se caracteriza porque un volumen de gas es succionado dentro del compresor, siendo comprimida e incrementando el valor de su temperatura y luego en forma cíclica es descargada a la red de servicio. El flujo de gas varia directamente proporcional con la velocidad de operación, la relación de compresión es función de la presión en la parte interna del compresor. Se les conoce como maquinas absorbedores de potencia de desplazamiento positivo, clasificándose internamente en reciprocantes y del tipo rotativo. (Toapanta, 2009)

Compresores de flujo continuo, los gases fluyen a través del cuerpo del compresor siendo comprimido al pasar por su distinto tipo de etapas, desplazándose a través de ellos y siendo posteriormente descargado continuamente. El ratio de flujo y la relación de compresión varía en relación a la velocidad del fluido, estos compresores pueden

clasificarse en centrífugos, pudiendo ser también del tipo dinámico y eyectores, para generación de vacío. (Toapanta, 2009)

La mayor parte de los procesos de compresión termodinámicamente se presentan el comportamiento de tipo politrópico, por lo tanto, un aumento de presión conlleva a un incremento de temperatura del gas y reducción de su densidad. Para evitar el incremento del valor de la elevación de la temperatura y aumentar la eficiencia del proceso de compresión, esta se realiza en varias etapas, de tal forma que este se pueda enfriar entre etapa y etapa. La compresión multi-etapa permite el aumento del rendimiento volumétrico o eficiencia del llenado de la cámara de compresión. Se demuestra que la potencia necesaria para el proceso en multi-etapas es menor con relación a la potencia de compresión en etapa única. (Alfaro, 2020)

El enfriamiento intermedio se consigue cuando la temperatura del aire comprimido saliente del interenfriador es igual al valor de la temperatura del aire ambiental que es succionado por el compresor. Con el enfriamiento intermedio perfecto se obtiene un consumo de potencia menor teniendo en consideración de que la relación de presión de etapas intermedias son idénticas. Con el aumento de las etapas el proceso de compresión tiene el comportamiento de un proceso isotérmico. Por un lado, la eficiencia del compresor aumenta, pero por lado el proceso se realiza de una manera más compleja debido al grado de control que se debe tener en la operación. Técnicamente según el nivel de compresión se presenta solo un óptimo del número de etapas que es función de la utilidad y servicio que desarrolla el compresor. (Alfaro, 2020)

Para por realizar la disipación del calor generado en el proceso de compresión, por lo general se debe refrigerar los cilindros del compresor, la culata, así como otros componentes sometidos a incremento de temperatura. En este caso, el enfriamiento intermedio constituye el sistema más relevante para el control térmico. El fluido utilizado es aire, agua u otro fluido por medio natural o forzado. (Alfaro, 2020)

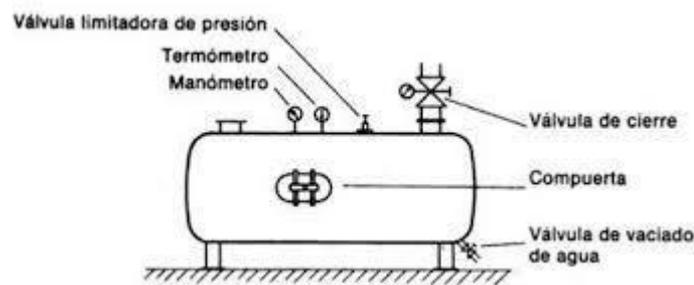
Depósito de aire o acumulador Son equipos estáticos que permiten almacenar el aire comprimido, se ubica a la salida del compresor antes de pasar por la unidad de mantenimiento y ser derivados a los procesos, en algunos casos se instalan delante de

actuadores neumáticos para garantizar la fiabilidad del aire comprimido. Su operación es como sigue:

- Actúa de distanciador entre las etapas de regulación.
- Hace frente a los periodos de alta demanda de flujo de aire comprimido para evitarse las reducciones de presión dentro de la red de distribución.
- Permite la adaptación del caudal de descarga desde el compresor a la red de distribución de aire comprimido.
- Refrigera el aire comprimido contenido en el mismo tanque debido a que a través de su superficie puede transferirse el calor absorbido por el aire al medio ambiente. Lo cual genera presencia de agua decantada, lo cual debe liberarse progresivamente a través de la purga de fondo. (Ruiz, 2011)

Figura 3

*Depósitos de aire comprimido*

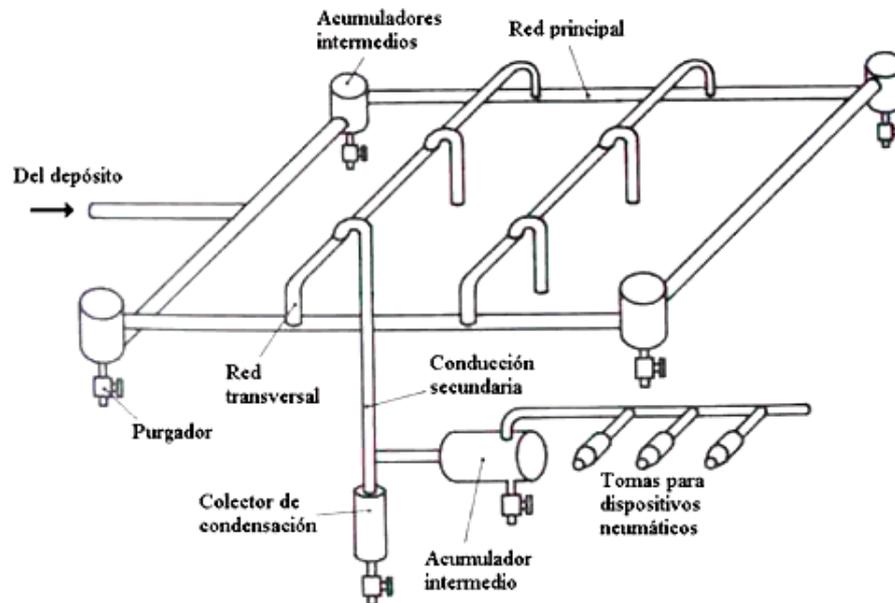


*Nota.* Imagen tomada de Empresa Atlas Copco (2021)

Los sistemas de distribución de aire comprimido son muy requeridos en las plantas industriales, empresas de servicio y laboratorios de investigación para el control automático. Para es necesario un adecuado dimensionamiento de la red de aire comprimido, el cual primeramente debe estar filtrado, seco y lubricado para un correcto flujo, un papel muy importa juega la caída o pendiente de tramo a tramo de una red lineal considerándose un mínimo de 1% y un máximo de 3% de pendiente. De igual modo los cambios de dirección hacia las redes secundarias se realizan a través de la parte superior de la red principal. El diámetro de las tuberías es dimensionado según el caudal requerido, aplicando un 20% adicional por expansión de la red y así mismo la disminución de presión máxima no deberá exceder 0,1 bar de presión entre el suministro y el punto de consumo más lejano. (Vera, 2018)

Figura 4

*Red de distribución de aire comprimido*



*Nota.* Imagen tomada de Bejarano (2011)

Dentro de las características de las redes de distribución tenemos:

- El diámetro se selecciona teniendo en cuenta el incremento de la demanda por nuevos equipos, las caídas de presión que no debe superar el valor de 0,1 bar
- Por condiciones de mantenimiento nunca deberán estar empotradas.
- Se debe procurar pendientes entre 1 y el 2% en el sentido de flujo, y del mismo deberán instalarse cada cierto tramo purgadores de condensados en la parte inferior del punto de la red o antes de entrar a una red secundaria.
- En su configuración es estila una configuración en anillo con ramales secundarios que permitan una interconexión de toda la red y tener una presión constante, con el inconveniente que no se puede monitorear el sentido del flujo, por otro lado se diseñan sistemas abiertos por necesidad, cuando hay cruce de máquinas o componentes que afectan a la red. (Cienciaesfera, 2023)

Los materiales empleados para los componentes de la red de distribución deberán cumplir ciertas condiciones como: deberá generar por fricción el mínimo de perdidas al flujo de fluido, limitar las fugas de aire a través de conexiones seguras, resistencia elevada a la

oxidación y estar propensas a una ampliación de la red. los tipos de tuberías que se requieren para el montaje son: Cobre, acero o polietileno y actualmente aluminio ecológico de muy bajo coeficiente de rugosidad. (Vera, 2018)

Las redes abiertas: Está formada por tuberías que se ramifican hasta alcanzar todos los puntos de consumo. Su principal característica es que son económicas debido a que la longitud de las mangueras es menor que en otros tipos de redes. Se compone de una línea de distribución principal con varias divisiones en líneas secundarias. (Cybermatics, 2024)

Red Cerrada: Este tipo de red de distribución se caracteriza por tener una disposición en anillo. Facilitan el mantenimiento de los puntos de consumo al permitir cerrar una sola estación de forma independiente, sin afectar a las demás. Las redes cerradas en comparación a las abiertas presentan una dificultad a la hora de instalar los equipos, ya que, debido a la disposición de las tuberías, presentan cambios en la dirección del flujo de aire comprimido y como consecuencia, algunos equipos que poseen un sentido de conexión quedan inutilizados. (Cybermatics, 2024)

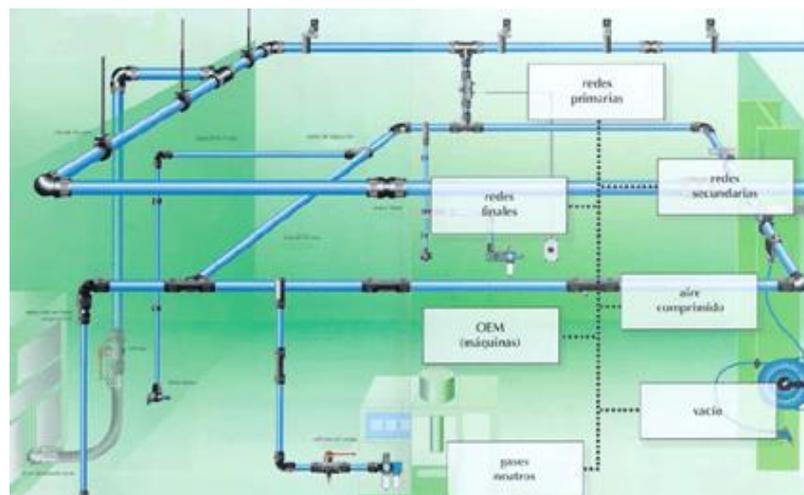
Red Mixta: Se caracterizan por tener una línea de distribución principal, cerrada en un extremo y varios puntos de conexión para los equipos. Es una de las combinaciones más utilizadas debido a que se aprovechan las ventajas de cada una de las distribuciones mencionadas. En los circuitos neumáticos se debe tener en cuenta que, si bien es necesario adquirir un compresor, también se requiere de un diseño eficiente en la red de distribución. De este modo, el proceso industrial a realizar será efectuado con mayor optimización y productividad. (Cybermatics, 2024)

Con el avance de los procesos de automatización de los dispositivos de fabricación, las organizaciones requieren sistemas neumáticos para sus procesos, con lo cual el requerimiento de aire se hace mayor. Cada equipo (sea para arenado) y mecanismo (para pintado) requiere una determinada cantidad de aire comprimido. En la planificación de instalaciones nuevas deberá tenerse en cuenta la ampliación de planta que conlleva al incremento de la planta de compresión de aire para cubrir una demanda futura, considerándose un 20%. Para la red de tuberías se tienen en cuenta los siguientes:

- Tuberías principales y colectores: la tubería principal es aquella que sale del depósito o tanque de aire comprimido y se distribuye en la red principal de aire comprimido. En el caso de tener colectores estos derivan hacia la tubería principal y sirven de punto de suministro para las redes primarias. Se estima un valor entre 6 m/s a los 9 m/s como velocidad recomendada. (Ruiz, 2011)
- Tuberías primarias: toman el aire de los colectores, o manífol o de la misma red de suministro proveniente del compresor y se derivan hacia las áreas de consumo ramificándose por las áreas de trabajo, y derivan en tuberías de menor diámetro o tuberías de servicio o secundarias. El flujo de aire que circula a través de ellas es igual a la suma de los flujos de todos los puntos de consumo más un adicional por el incremento futuro de la demanda que por lo general es 20%.
- Las tuberías de servicio o redes secundarias/terciaria alimentan los equipos o puntos de consumo de aire comprimido, constan de llaves de cierre rápido, y mangueras de aire y las unidades de mantenimiento. No se deberá tener en cuenta tuberías de diámetro menor a ½”, para una adecuada operación. (Ruiz, 2011)

Figura 5

*Red de distribución de aire comprimido-Tuberías primarias y secundarias*



*Nota.* Imagen tomada de CEACSA (2021)

El aire generado por compresores se encuentra contaminado, el cual está afectado por factores: externos e internos. Los factores externos se generan debido a que el compresor succiona aire desde el medio ambiente el contiene impurezas tal como polvo, así como partículas de diversa naturaleza. Mientras que los factores internos se originan dentro de la parte interna de la instalación de generación y distribución cuando el aire al fluir dentro de ello arrastra partículas del material de lo que están hecho los componentes tal como óxidos y por su naturaleza el aire es húmedo, en el cual el agua esta propensa a condensarse o aceite que se arrastre del lubricante del compresor. Para ello se requiere el empleo de filtros para los factores externos, mientras que en la parte interna juegan un papel importante las unidades de mantenimiento (formado por filtros, separadores de partículas de humedad y lubricadores, más un regulador de presión. (Pneumatig, 2024)

La unidad de mantenimiento presenta como primer componente al filtro de aire el cual realiza la captura y separación de partículas en suspensión hasta un valor que puede llegar a menores de 0,001 mm. Del mismo modo el proceso de secado se desarrolla también allí, con un separador de humedad el cual captura las partículas de agua que están contenidas en el aire húmedo, con lo cual es un elemento de mayor dimensión con respecto a los otros componentes. Su diseño no permite una caída de presión significativa del flujo. (Pneumatig, 2024)

Otro componente de la unidad de mantenimiento es el lubricador. Su función es generar una niebla de aceite, con la finalidad de que al aire al entrar en contacto con las partes internas de las máquinas que acciona, las lubrique también, generando la conservación de ellos, alargando su vida útil y evitando la corrosión. Una solución tecnológica es la integración de más elementos o caso contrario la inserción de un componente que realiza por lo menos tres funciones de ellas a la vez. El primero es un filtro-reductor que limpia y seca el aire comprimido, a la vez que permite la regulación de la presión. El segundo elemento es el lubricador que origina la neblina de aceite. (Pneumatig, 2024)

El aire comprimido al ingresar al filtro elimina las partículas sólidas y de aceite de mayor tamaño a través de fuerzas de tipo centrífuga. En esta etapa también se condensa el agua, separándola y demandándola en un depósito que continuamente debe purgarse. Luego,

bajo una presión regulada ingresa al lubricador, que genera la neblina de aceite. (Pneumatig, 2024)

Figura 6

*Unidad de tratamiento de aire comprimido*



*Nota.* Imagen tomada de Empresa FESTO INGENIERIA (2024)

### **2.1.2 Compresores de pistón.**

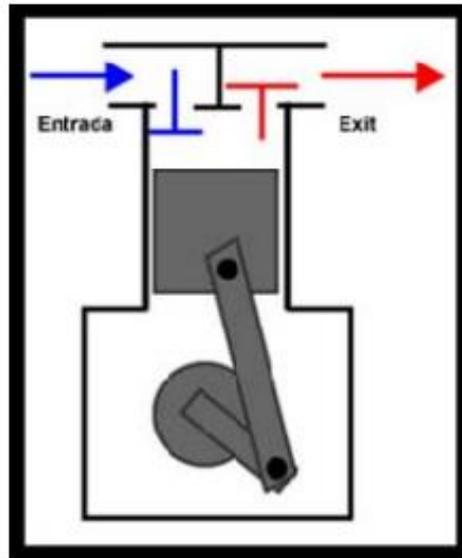
Son máquinas de desplazamiento positivo. Un pistón realiza la succión del aire y comprimiéndolo dentro de un cilindro que está confinado, encerrado en donde las válvulas son los únicos puntos de acceso y descarga. El movimiento alternativo lineal genera un vacío dentro de la cámara. Logrando así, que el aire se succione hacia dentro a través de la válvula de admisión. En el movimiento hacia arriba, la válvula de admisión se cierra y el aire que se encuentra en el cilindro se comprime hasta que la presión dentro del cilindro sea mayor que la presión de afuera de la válvula de descarga y la apertura por la diferencia de presiones. (Yanque, 2020)

Un compresor de pistón está compuesto de un cárter con cigüeñal, un pistón y un cilindro. Los compresores de pistón pueden tener más de un pistón. La arquitectura de los pistones se instala sobre un árbol cigüeñal, con lo cual se consigue sincronizar la operación de los pistones. Si la compresión se realiza a presiones de 6 bar, entonces esta referido a un compresor de 2 etapas. Un compresor de 2 etapas se considera como si existiesen 2 compresores de una etapa. En el primero de ellos el aire a condiciones ambientales es comprimido hasta una presión que será la raíz cuadrada de la presión total después de la compresión final. Si, por ejemplo, esta presión total es de 8 bar, la primera etapa deberá

comprimir hasta 2,83 bar, y la segunda hasta alcanzar los 8 bar. Se puede demostrar que la potencia requerida es mínima si todas las etapas presentan la misma relación de compresión. (Alfaro, 2020)

Figura 7

*Principio de funcionamiento de un compresor de pistón*



*Nota.* Imagen tomada de Alfaro (2020)

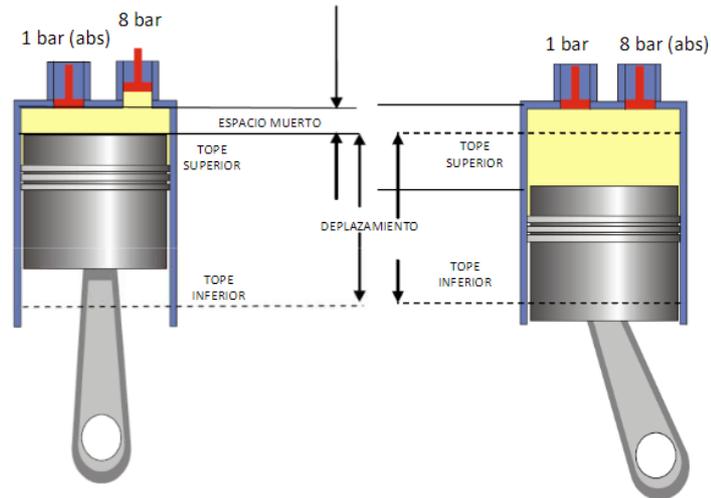
El movimiento del pistón en un compresor alternativo es repetitivo, descargando el aire comprimido en etapas. El movimiento torsor efectuado sobre el árbol cigüeñal están bien cíclico, ascendiendo y descendiendo el pistón realizando su carrera de trabajo. El volumen succionado es menor que el volumen total del cilindro; la diferencia entre ambos toma el nombre de volumen muerto. El volumen muerto representa un volumen de aire no entregado por parte del compresor, con lo cual se busca reducir este espacio para mejorar el rendimiento volumétrico o coeficiente de llenado. El volumen muerto es función de lo siguiente: holguras y tolerancias de fabricación, diseño por requerimiento de espacio necesario para la operatividad de válvulas, diseño por requerimiento de espacio necesario para la expansión o carrera entre el punto muerto superior y el punto muerto por parte del pistón. (Yanque, 2020)

El aire comprimido no ingresa al volumen muerto de la cámara de compresión y descomprime durante la carrera de descenso del pistón, hasta que la presión es inferior a la presión externa a la válvula de ingreso, generándose un vacío, logrando así que la

válvula de ingreso se abra ingresando el aire al cilindro durante el resto del desplazamiento del pistón en descenso. (Yanque, 2020)

Figura 8

*Compresión y descompresión del gas en espacio muerto*



*Nota.* Imagen tomada de Kaesser Compresores (2024)

En los compresores, la compresión se produce en 1 o más cilindros mediante el trabajo que realizan pistones similares a los de motores de combustión interna. Estas máquinas consumidoras de energía operan teniendo en cuenta los procesos adiabáticos mediante el cual el gas es aspirado al cilindro a través de las válvulas de ingreso y comprime dentro del cilindro y se descarga a través de las válvulas de descarga, en contra de la presión de salida. Posee solo 1 válvula de admisión y 1 de escape, para ello el embolo desciende hasta el punto muerto inferior se apertura la válvula de admisión e ingresa un nuevo aire aspirado del medio ambiente, luego se cierra la válvula y el pistón asciende al punto muerto superior reduciéndose el volumen del aire, incrementando su presión. Luego de ello se apertura la válvula de salida dirigiéndose el aire al depósito de almacenamiento o a la red de distribución.

Después, el aire comprimido circula a través de un enfriador que emplea un intercambio de calor del tipo aire/aire o aire/agua, antes de ingresar en el depósito de almacenamiento. En los compresores alternativos se requiere siempre tener un depósito de almacenamiento para dar sostenibilidad a la cobertura de la demanda del sistema de aire comprimido de la instalación. (Serviaire, 2024)

El Compresor de una etapa es la máquina que trabaja con una etapa de compresión, pudiendo realizar la compresión en varios cámaras dispuestos en arquitectura paralela. Se consigue una presión que alcanza a un valor máximo de 10 bar. (Serviaire, 2024)

Figura 9

*Compresor de 1 etapa de pistón*



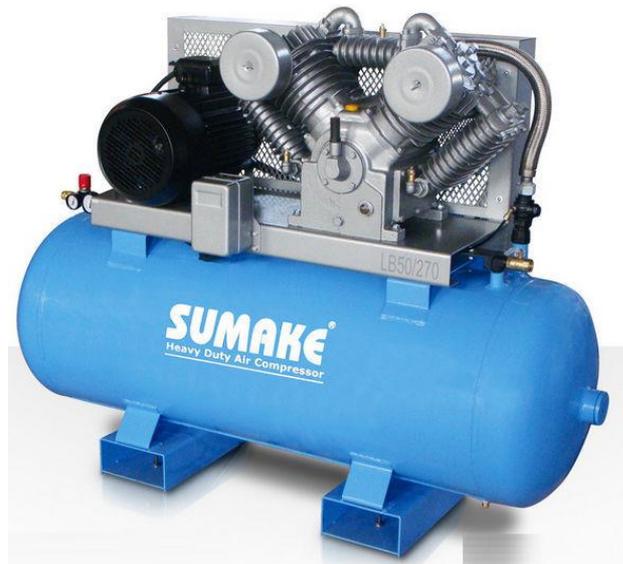
*Nota.* Imagen tomada de Cevik Compresores (2024)

Compresor multietapa: Emplea múltiples etapas de compresión produciéndose un incremento de presión que puede alcanzarse valores de 12 bar e incluso 400 bares, en cada una de las etapas se incluyen émbolos enseriados que logran la compresión del aire a elevados valores de compresión. Son máquinas de grandes dimensiones y empleados en el control de máquinas de grandes dimensiones. (Serviaire, 2024)

En el caso de compresores multi etapas, sistema cilindro-pistón donde se realizará la segunda etapa de compresión deberá tener un tamaño menor al primero, para poder conseguir una presión de servicio o de operación. Los flujos generados varían desde valores muy pequeños hasta valores de caudal hasta  $500 \text{ m}^3/\text{min}$ . Este tipo de compresores es empleado para baja, media y alta presión de servicio, lo cual lo convierte en el de mayor uso frecuente en la industria. Se pueden generar presiones de 60 psi (4 bar) para una etapa y de 220 psi (15 bar) para 2 etapas. (Capurro, 2012)

Figura 10

*Compresor de 2 etapa de pistón*



*Nota.* Imagen tomada de Sumake Compresores (2024)

La diferencia relevante entre un compresor de embolo de 1 y 2 etapas es el periodo de la etapa de compresión del aire entre la válvula de ingreso y la boquilla del compresor. Para un compresor de una sola etapa, se comprime solo una vez y, para un compresor de dos etapas, se comprime 2 veces. En el de 1etapa el aire fluye a un tanque de almacenamiento luego de la etapa de compresión en una sola carrera. Para el segundo caso, el aire se desplaza hacia una cámara de menor tamaño a través de un ducto de enfriamiento donde disminuye la temperatura del fluido. En esta etapa se comprime por segunda vez, lo que genera un incremento de la presión. (Inducom, 2024)

Debido a que la presión del aire comprimido producido por un compresor de pistón de una etapa es menos (a lo mucho 10 bar), estos equipos son los más preferidos en la industria por su versatilidad para realizar tareas más pequeñas que no requieren un flujo de aire continuo. Dentro de las actividades empleadas tenemos pistolas de clavos, lijadoras y perforadoras, por el contrario, los compresores de embolo de 2 etapas se emplean en tareas en donde se necesita una gran potencia y un caudal continuo de aire comprimido. Se le puede producir a presiones de hasta 30 bar, lo cual puede accionar desde elevadores mecánicos, pulverizadores para pintado y otras herramientas para actividades pesadas para actividades mineras y de construcción. (Inducom, 2024)

Por el modo del trabajo del embolo, los compresores alternativos se clasifican en:

- De simple efecto, en este caso el embolo opera sobre una sola cara del pistón, que está dirigida hacia la parte superior de la cámara de compresión. El volumen de aire desplazado es igual a la carrera realizada por el área del pistón.
- Los de doble efecto, se caracterizan porque el pistón opera sobre sus dos caras, produciéndose dos cámaras para compresión en el mismo cilindro. El volumen desplazado es igual al doble del flujo de la sección del embolo por la carrera realizada. Para este caso los volúmenes creados por las dos caras del pistón no son iguales. (Capurro, 2012)

Este tipo de compresores presenta ventajas que hacen que siguen siendo seleccionados para operar en diversas instalaciones industriales, así tenemos por lo siguiente:

- Bajo costo de inversión. La cual es la principal ventaja, debido a su bajo costo en relación a los compresores de tornillo o compresores centrífugos. Por lo tanto, las empresas de menor poder adquisitivo pueden comprarlos.
- Diseño robusto: Independientemente de su bajo costo comercial, son maquinas muy voluminosas y robustas y una adecuada arquitectura interna que le permite tener una alta disponibilidad. Presentan periodos de mantenimiento con bajo costo y del mismo modo son menos propensos a fallas a pesar de estar sometidos a largas jornadas de trabajo.
- Presentan rangos de presión muy amplios: estando en condiciones de generar aire comprimido a presiones bajas o altas. Por eso, es común su uso en diversos sectores industriales, así como en talleres automotrices, o en plantas de envasado de agua. (Serviaire, 2024)

### **2.1.3 Compresores de tornillo.**

El compresor de tornillo también es considerado de desplazamiento positivo con una arquitectura en forma de tornillo, siendo actualmente el de mayor uso. Los elementos que componen la zona de compresión de tornillo incluyen rotores machos y hembras que se mueven unos entre otros mientras que se va reduciendo el volumen entre ellos y el alojamiento, lo que genera la compresión. La relación de presiones de un tornillo dependerá principalmente de la longitud y perfil de dicho tornillo y de la geometría del punto de descarga. El tornillo no contiene elementos que creen desequilibrios dinámicos

durante el trabajo. Por lo que opera con elevadas velocidades de giro o rotación y producir un alto caudal de aire comprimido a pesar de tener dimensiones exteriores reducidas. (Ruiz, 2011)

Esta tecnología se fundamenta en el desplazamiento del aire, a través de las cámaras que se generan con el giro simultáneo y en sentido contrario, de dos tornillos, un macho y una hembra. En este caso, el aire ocupa los espacios creados entre los tornillos, incrementando la presión en función a la reducción del volumen entre las cámaras. La dirección del desplazamiento del aire es de sentido lineal, desde el lado de la succión hasta la zona de presión, donde se aloja la tobera de descarga. (Vera, 2018)

La gran ventaja del compresor de tornillo radica en que suministra un caudal continuo de aire comprimido, debido a los tornillos, y éste tiene la particularidad de llegar a las máquinas sin partículas de aceite. Dentro de sus usos tenemos en industrias de alimentos y bebidas, fabricaciones militares, industria aeroespacial, procesos de automatización, electrónica, petroquímica médica, entre otros. (Ruiz, 2011)

Figura 11

*Compresor de tornillo*



*Nota.* Imagen tomada de Empresa Atlas Copco (2023)

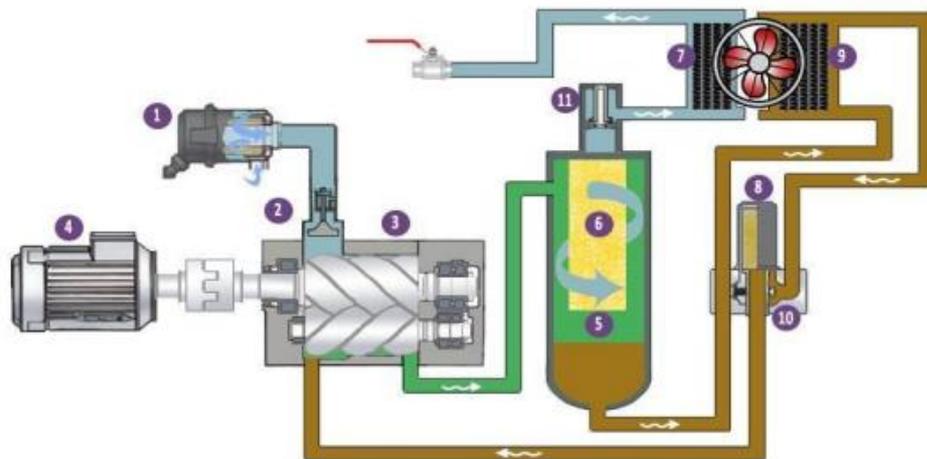
Estos compresores se fabrican en dos presentaciones distintas, así tenemos compresores de tornillo con lubricación y compresores de tornillo sin lubricación. Diferenciándose en el tipo de lubricación de la máquina. En el primer caso se inyecta aceite en los rotores

para la lubricación, sellado y refrigeración de la compresión. Este tipo de compresor es actualmente el más empleado en la industria, en la mayoría de las implementaciones, el residual del aceite lubricante que permanece en la línea de aire comprimido no se presenta como barrera para el proceso. (Vera, 2018)

El conjunto compuesto por los rotores y el motor (elementos 3 y 4) constituyen la base del compresor, independiente del tipo de accionamiento, ya sea con un motor o de combustión interna, o impulsión hidráulica. El aire es succionado por el compresor a través de la válvula (2) y el filtro (1), fluyendo por el tornillo (3) por la zona de succión. Por su parte interna, el aire fluye a través de los 2 tornillos y se comprime sobre el depósito de separación aire/aceite (5). Seguidamente en el interior de este recipiente receptor (5), el aire comprimido entra a la fuerza a realizar un giro brusco, con la finalidad de permitir que se desprenda de la mayor cantidad de aceite contenido. Para incrementar el rendimiento de la separación, el aire comprimido sale al medio externo a través de un filtro separador con propiedades coalescentes (6), que retiene lo restante del aceite contenido en el aire comprimido generado hasta un valor residual muy bajo (menor a 3 ppm). (Vera, 2018)

Figura 12

*Funcionamiento de un compresor de tornillo lubricado*



*Nota.* Imagen tomada de Vera (2018)

El proceso de compresión produce un incremento de temperatura del aire y la generación de calor. Por lo cual el aire requiere enfriarse desde valores cercanos a 100°C a través de

intercambiadores de calor (7) en los cuales se reduce la temperatura del aire comprimido hasta un valor que le permita una adecuada maniobrabilidad. Estos cambiadores de calor son del tipo Aire/Aire o Aire/Agua. Antes de ingresar el aire comprimido al cambiador de calor, circula a través de una válvula de retención y mínima presión (11). La primera misión de la válvula es mantener la presión interna del circuito de aire según los valores mínimos requeridos por los fabricantes y del mismo modo evitar el retorno del aire desde la red de distribución. (Vera, 2018)

El proceso de lubricación para estos compresores se realiza primero seleccionando un aceite diseñado para esta actividad y según el tipo de máquina. Una vez que sea separado el aceite en el recipiente (5), es dirigido a un circuito cerrado que contiene al sistema de filtración (8) en el cual se elimina las impurezas que contiene el aire, y un enfriador (9) que permite la disminución de su temperatura. Luego el aceite limpio a una temperatura conveniente es inyectado de nuevo al tornillo. Para lo cual es necesario de que el aceite del compresor no deba estar frío ni muy caliente. Debido a ello dentro del circuito de lubricación, se tiene una válvula termostática (10) que identifica si el aceite deberá circular por el enfriador o deberá retornar directamente al tornillo, para ello el valor de la temperatura decidirá su tarea a realizar. (Vera, 2018)

El aceite lubricante empleado en este tipo de compresores es un elemento de vital importancia para la operatividad, disponibilidad y eficiencia de la máquina. Se recomienda emplear el aceite adecuado, realizando las siguientes funciones:

- Lubricación. El aceite se emplea en la lubricación de tornillos y rodamientos.
- Sellado. Es relevante que la mínima tolerancia existente entre los rotores quede sellada con el aceite de lubricante y de esta forma evitar la disminución del rendimiento del sistema.
- Enfriamiento. El aceite inyectado actúa como refrigerante con el cual se evacuará el calor. (Vera, 2018)

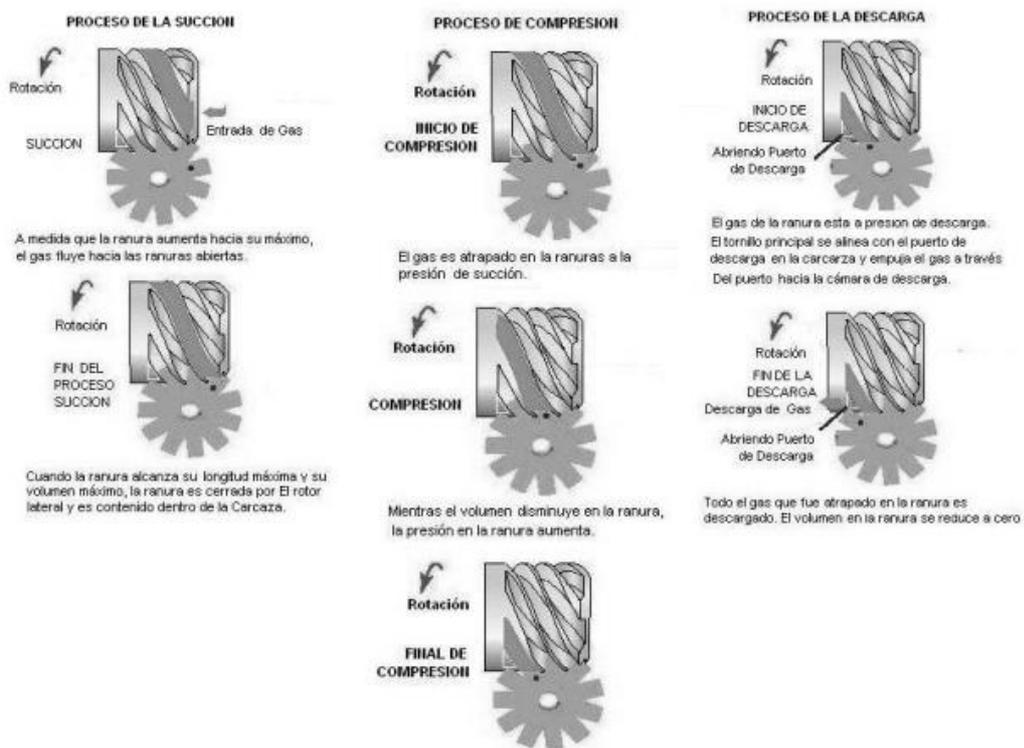
El compresor de tipo tornillo es similar a un compresor rotativo de desplazamiento positivo que contiene un rotor principal cilíndrico con 6 ranuras helicoidales y 2 estrellas laterales planas conformada por 11 engranes cada una. La compresión del aire se realiza por medio de las dos estrellas laterales con las ranuras helicoidales en el rotor principal.

El compresor contiene tres componentes que giran y completan la función del proceso de compresión. Los ejes rotatorios de las estrellas laterales se ubican paralelamente entre ellos y se ubican de forma perpendicular al eje del rotor principal del compresor de tornillo. (Jerez, 2005)

El ciclo termodinámico se inicia luego de que el aire aspirado llena las ranuras superiores e inferiores del rotor principal en la zona de aspiración, como el compresor tiene dos estrellas laterales, el proceso de compresión se realiza en forma simultánea en los lados opuestos del rotor, tanto en la zona superior e inferior. Cuando el rotor principal gira, éste, a su vez, accionara las estrellas laterales, el engranaje de la estrella lateral con una de las ranuras del rotor principal retiene al aire de la succión, iniciándose el proceso de compresión, mientras el rotor principal gira, el engranaje de la estrella lateral continuara disminuyendo el volumen inicial de la ranura e incrementando su presión en dicho espacio. Esto sucede de forma simultánea en los lados opuestos del rotor principal. (Jerez, 2005)

Figura 13

*Procesos del compresor de tornillo.*



*Nota.* Imagen tomada de Manual Vilter (2015)

Para terminar con el proceso el rotor principal seguirá girando hasta el final del término del ciclo de compresión, luego la ranura se alineará al puerto de la carcasa en el lado de la descarga, el aire y cualquier líquido que se encuentre en la ranura son expulsados de forma radial a través de la compuerta de expulsión. Como existen 6 ranuras en el rotor principal, el proceso de compresión se realiza de forma simultánea en 2 sitios por cada revolución que realice el rotor. Una operación a 3 600 rpm genera 21 600 procesos de compresión simultáneos en las ranuras superiores e inferiores por cada minuto y un caudal generado continuo del aire comprimido. (Jerez, 2005)

Los tornillos representan ser una parte muy crítica del compresor de aire del tipo tornillo y un elemento fundamental en el proceso de compresión del aire. Los tornillos están dispuestos en pares (macho y hembra) y se alojan dentro de los cilindros, donde se producen las rotaciones en ambos rotores. Cuando se prende el compresor, los tornillos giran a elevada velocidad para crear un ambiente a través de la cual fluirá el caudal de aire que es succionado del medio ambiente. El aire se comprimirá y descargará en un flujo continuo. (Chicago Pneumatic, 2020)

El compresor helicoidal de doble rotor, es una maquina rotativa de desplazamiento positivo, en la cual la compresión del aire se realiza en 2 rotores. Está constituido por dos o tres tornillos helicoidales que están engranados entre sí. El largo de los tornillos debe ser mayor, por lo menos 1,5 a 2 veces su paso, para asegurar la estanqueidad de las cámaras formadas entre las hélices. Operan con velocidades altas, no presentan válvulas y fuerzas mecánicas que generen desequilibrio dinámico, por lo que sus dimensiones son muy cortas, con respecto a su capacidad. (Yepes, 2019)

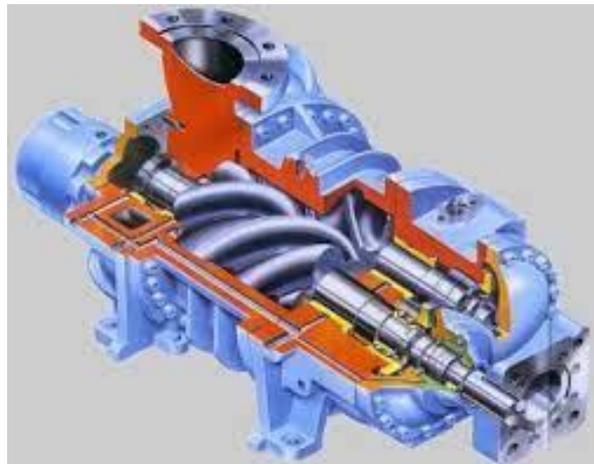
La geometría del tornillo que conduce es convexa, mientras que del tornillo conducido es de geometría cóncava; el rotor conductor, conectado al eje motor, gira mucho más rápido que el conducido. El aire que ingresa por la cavidad de aspiración, situada en uno de los extremos del compresor, llena totalmente cada una de las cámaras de trabajo helicoidales del rotor conducido. En el desarrollo del giro de los rotores, las cámaras de trabajo limitadas entre los filetes de los rotores y las superficies internas del estator, permanecen sin contacto directo con la cavidad de succión y se desplazan con el aire a lo largo del eje de rotación por donde fluye el aire. (Yepes, 2019)

Este tipo de compresor es el más empleado en obras públicas y en el sector industrial de la construcción y minería. Representan ser una solución para producciones que sean mayores a los 10 m<sup>3</sup>/min, con eficiencias sobre el 85%. Se puede desarrollar presiones de 50 bar. Tenemos dos tipos:

- Con engranajes exteriores para transmisión del movimiento entre ambos rotores. Presentan cierta holgura entre sí, lo que evita el posible desgaste y evita la lubricación.
- Con flujo de aceite a través de la máquina para lubricación y sellado, así como para refrigerar el aire comprimido. En este caso, los engranajes se pueden suprimir, transmitiendo el movimiento de forma directa por el contacto entre ambos rotores. (Yepes, 2019)

Figura 14

*Arquitectura de un compresor de tornillo*



*Nota.* Imagen tomada de Yepes (2019)

Se ha comprobado que esta máquina proporciona buena eficiencia y presenta una fácil operación. El diseño asimétrico reduce el nivel de fugas a través de la red del rotor, y proporciona un pequeño alivio en la descarga. Esta representa el área de fuga entre los terminales del casquete y la red del rotor. El rotor macho absorbe cerca del 85% del torque de funcionamiento y el rotor hembra, tan solo el 15%. Por esta razón, tan solo 15% de la fuerza mecánica de movimiento es transmitida a través de la red del rotor. Existe la simple acción de rodaje entre los rotores ya que ellos son conducidos en la línea de

desplazamiento de la máquina. Por lo tanto, cuando son manufacturados de una forma eficiente, no existe el contacto por deslizamiento entre rotores, y esto minimizará su desgaste operativo. (Jerez, 2005)

En el caso de que el rotor hembra realice la operación conductora al macho, proporciona un 50% de aumento en la velocidad de la punta del rotor macho comparable con el conducido por el rotor macho. Esto se debe a que el radio de la velocidad macho-hembra es de 1.5 inherente. No obstante, ya que el rotor macho absorberá el 85% de la fuerza mecánica suministrada, toda ésta debe ser transmitida por medio de la red del rotor. Esto requerirá el endurecimiento de los rotores a lo largo de la línea de empuje con la finalidad de compensar las fuerzas mecánicas adicionales de conducción. Un riesgo mayor para el desgaste del motor o de daños permanentes es el uso de este esquema de conducción del proceso de compresión. (Jerez, 2005)

A pesar de contar tan solo con una pequeña cantidad de elementos móviles en el compresor de tornillo doble y simple configuración, no se pueden desconocer las ventajas del empleo de los compresores alternativos. El compresor de tornillo opera a velocidades 3 veces mayores que el compresor reciprocante, y con mayor carga dinámica en los rodamientos, lo cual afecta la vida útil de la máquina. El compresor alternativo es también más eficiente operando a cargas parciales o de forma intermitente. Cada tipo de tecnología de compresión presenta ventajas y desventajas y son muy comerciales. (Jerez, 2005)

Los cilindros de compresión representan una parte central de los compresores de aire de tornillo. El aire que es succionado fluye por las cámaras de dicho cilindro y llega a los tornillos giratorios. Un compresor de aire de tornillo puede ser de única o doble etapa y esto puede determinar la cantidad de cilindros que tiene la máquina y la presión que puede alcanzarse. Los materiales más comunes de fabricación del cilindro es el fierro fundido y el acero. (Chicago Pneumatic, 2020)

El filtro de aire de ingreso se encuentra justo dentro de la válvula de apertura del compresor de aire de tornillo. El filtro de aire minimizará el daño en el interior del compresor de tornillo al eliminar el polvo, la humedad y las partículas de agua contenida. Otros filtros de aire son empleados como medio para realizar una limpieza adicional y

como protección, al ubicarse dentro de las partes de la cámara. La correcta ubicación de este filtro de aire garantiza que se recepcione aire lo más fresco y limpio. (Chicago Pneumatic, 2020)

El filtro de aceite opera tanto para limpieza así para mantener la pureza del aire admitido. Con el fin de garantizarse la lubricación con aceite y su tamizado adecuado del aire comprimido en los compresores de tornillo rotativo con inyección de aceite, el filtro de aceite se instala dentro de las paredes de la cámara giratoria y cercana a las válvulas de expulsión. Los compresores de aire de tornillo generan calor, pero la lubricación con aceite puede proporcionar el enfriamiento para mantener el compresor funcionando de manera confiable. La mayoría de los filtros de aceite también se montan con válvulas de derivación. (Chicago Pneumatic, 2020)

Para garantizarse que los tornillos estén seguros y roten de forma uniforme, los cojinetes se instalan en ambos extremos de estos. Otros cojinetes serán instalados en lugares clave en el compresor de aire de tornillo, pero los más importantes son los cojinetes de carga radial y los cojinetes axiales. Hay una variedad de geometrías para el diseño cuando se trata de cojinetes y esto dependerá del tamaño y los trabajos desarrollados por el compresor de aire de tornillo, y si el compresor es lubricado o no. Sin embargo, los cojinetes son del tipo antifricción y anticorrosivos. (Chicago Pneumatic, 2020)

El compresor de tornillo es uno de los sistemas de aire comprimido de mayor empleo en la industria contemporánea por sus características y prestaciones. Estos equipos pueden trabajar las 24 horas del día sin parar, lo que los hace perfectos para aquellas industrias con un funcionamiento constante, como la militar, la aeronáutica o la de la construcción entre muchas otras. Dentro de sus beneficios tenemos:

- El nivel de aceite que necesitan es más bajo en comparación a otros modelos de compresor de tornillo. Incluso existe un modelo oil free, que evita el riesgo de contaminación por aceite, primordial para ciertos sectores, como pueden ser el farmacéutico o el alimentario.
- Entre sus componentes destaca un ventilador independiente que evita el sobrecalentamiento del dispositivo, gracias a lo cual son capaces de funcionar largas jornadas.

- Generan poca contaminación acústica, a diferencia de algunos equipos con las mismas funcionalidades. (Metrafil, 2024)
- La refrigeración del aparato está controlada por sonda, lo que aumenta su seguridad y eficiencia.
- Disponen de un cuadro eléctrico y de una placa electrónica que reducen la acumulación del polvo.
- No requieren de un mantenimiento y una limpieza constantes, lo que se traduce en una larga vida útil y, además, en una mayor comodidad de los usuarios y propietarios.
- No suelen estar equipados con válvulas ni fuerzas mecánicas que los desequilibren. Esto significa que podemos combinar un gran caudal con pequeñas dimensiones exteriores y que el dispositivo es capaz de trabajar con un a velocidad alta del eje. (Metrafil, 2024)

## **2.2 Accionamiento de Compresores.**

### **2.2.1 Motocompresores.**

Un motocompresor es un sistema de generación de aire comprimido el cual está formado por un compresor de tornillo o recíprocante accionado por un motor de combustión interna, se caracterizan porque requieren el uso de combustible para el accionamiento del motor de combustión interna, este último transforma la energía calorífica del combustible en energía mecánica en un eje que permite el accionamiento del compresor. Presenta altos costos de operación y mantenimiento, siendo su ventaja de ser móviles. (Palacios, 2020)

Los compresores de aire industriales funcionan operados por motores de combustión operan con petróleo Diesel DB5 o gasohol. Generalmente, el funcionamiento de un compresor de aire requiere un cilindro de bombeo, un pistón y un cigüeñal para transferir energía para una amplia variedad de tareas.

Un motor de combustión interna es básicamente una máquina que mezcla oxígeno con combustible gasificado. Una vez mezclados íntimamente y confinados en un espacio denominado cámara de combustión, los gases son encendidos para quemarse

(combustión). Debido a su diseño, el motor, utiliza el calor generado por la combustión, como energía para producir el movimiento giratorio. Hay diversos tipos de motores. La primera diferencia que puede hacerse esta en el tipo de combustión, así, por un lado tenemos los motores de combustión externa en el que la combustión se lo realiza en un sistema aparte del motor propiamente dicho, es decir, que la producción de energía calorífica tiene lugar en un sistema y la transformación del calor en energía mecánica en otro diferente y los motores de combustión interna en los que la combustión para la producción de energía calorífica se lleva a cabo en el mismo sistema que transforma dicha energía en energía mecánica, a este tipo pertenecen los motores de automóviles, cortadoras de césped, aviones, etc. Los motores de combustión interna pueden ser de encendido por explosión y motores de encendido por compresión o autoencendido. (Zavaleta, 2024)

Figura 15

*Motocompresores*



*Nota.* Imagen tomada de Kaeser Compresores

El motor de encendido por compresión opera según el ciclo diesel. En el motor de compresión, lo que ingresa a través de los inyectores es combustible y por el múltiple de admisión ingresa el aire. El combustible se inyecta antes de que el pistón alcance el punto muerto superior y se conoce como el adelanto de la inyección. El combustible entra en estado líquido, y se mezcla con el aire y alcanza las condiciones de presión y temperatura requeridas para el encendido. (Zavaleta, 2024)

Un motor de encendido por chispa es un tipo de motor térmico que opera según el ciclo termodinámico Otto y son de 2 o 4 tiempos. Por lo general emplean gasohol, GLP, GNV o alcohol como combustible, se le conoce de encendido por explosión debido a que un elemento llamado bujía, genera un arco eléctrico o chispa necesaria para el encendido de la mezcla aire/combustible. La bujía aprovecha la energía proveniente de la batería para elevar la tensión eléctrica y generar la chispa, produciéndose el foco de encendido inicial. En esta etapa se propaga el frente de llama la cual se acelera a medida que la combustión se expande por toda la cámara, aumenta la presión de esta última. El incremento de presión coincide con la llegada del pistón al PMS, recibiendo un impacto que retorna el pistón hacia el PMI generándose la carrera de expansión dentro del cilindro. (Zavaleta, 2024)

El accionamiento del compresor es función de las siguientes ecuaciones:

$$Ef_{compresor} = \frac{Potencia_{comprimir\ aire}}{Potencia_{suministrada\ al\ compresor}} * 100\% \dots \dots \dots (1)$$

$$Ef_{sistema} = \frac{Potencia_{suministrada\ al\ compresor}}{Potencia_{suministrada\ por\ el\ mci}} * 100\% \dots \dots \dots (2)$$

$$Ef_{mci} = \frac{Potencia_{suministrada\ por\ el\ mci}}{Potencia_{suministrada\ al\ mci}} * 100\% \dots \dots \dots (3)$$

$$Ef_{total} = \frac{Potencia_{comprimir\ aire}}{Potencia_{suministrada\ al\ mci}} * 100\% \dots \dots \dots (4)$$

Definiremos el rendimiento o eficiencia de una maquina como la potencia útil efectuada por unidad de potencia consumida. Si la potencia desarrollada por el motor en cada ciclo fuese igual a la potencia de reacción del combustible suministrado, el rendimiento es igual al 100% (ideal). El motor Diesel, que difiere ligeramente del de explosión, permite relaciones de compresión altas. El cálculo realizado sobre el modelo teórico de este ciclo, se puede ver que su eficiencia para una relación de compresión de 18:1 es de 32,0%. La eficiencia máxima (de un motor de gasolina con relación de compresión 9:1 es de un 27,5%. (Zavaleta, 2024)

### 2.2.2 Electrocompresores.

Un electro compresor es una máquina que permite la conversión de la energía eléctrica en energía potencial realizando se la compresión del aire a una determinada presión, sin generar emisiones al medio ambiente. El aire es un insumo energético el cual se emplea en sistemas neumáticos para el accionamiento de mando de control de diversos mecanismos tal como actuadores neumáticos. Un electro compresor es de fácil maniobrabilidad. Solo se requiere de una conexión a la red del compresor y puede empezar a utilizarla de forma inmediata. (Atlas Copco, 2023)

Se clasifican en máquinas de velocidad fija y de velocidad variable. La diferencia relevante entre ambas esta referida al tipo de control de la operación del motor eléctrico. Una maquina con velocidad fija operan con valores de frecuencia y tensión al motor a un solo régimen de velocidad. Por otro lado, una máquina de velocidad variable ajusta el régimen de operación del sistema en función a la demanda requerida. La unidad motriz no genera emisiones, presenta un nivel de ruido bajo y es seguro en su operación. El costo de producción es mucho menor a otro tipo de compresores, posee una mayor confiabilidad, incrementándose su disponibilidad operacional. (Atlas Copco, 2023)

Figura 16

*Electrocompresores*



*Nota.* Imagen tomada de Compresores Polares.

El rendimiento de un motor eléctrico consiste en la relación existente entre la potencia de salida y potencia suministrada. Es decir, la potencia mecánica, dividida entre la totalidad de la potencia de entrada, o suministrada independiente del recurso energético, pero con las mismas unidades físicas. La salida de la potencia mecánica es menor a la potencia de entrada. Esto en cumplimiento a la ley de conservación de la energía, la cual se va degradando por fricción o rozamiento, efecto joule y calor. La eficiencia del motor contemporáneo procura que las pérdidas sean las menores posibles. Muchos de los motores eléctricos están fabricados para operar con un porcentaje de carga de 50% al 100%. Los puntos más altos de rendimiento están en el orden de 85% del valor nominal. (SGS, 2022)

El factor de potencia es motivo de controversia al no ser incluido como una medida de disminución del costo energético. Una mejora del Factor de Potencia lograra la reducción de la facturación si el cliente definitivo está sujeto a cargos de uso de Factor de Potencia por energía reactiva inductiva. Los clientes con tarifas monómicas de energía no son beneficiados por el Factor de Potencia. La corrección de Factor de Potencia en un usuario se usa para evitar las cargas y disminuir el uso de transformadores y generadores. Para la minimización de las pérdidas, las compañías eléctricas animan a sus clientes a gastar energía en base a ciertos criterios normativos. La mayor parte de cargas de instalaciones comerciales son para motores, que requieren de energía reactiva inductiva. Los condensadores aplican esta energía en la dirección opuesta a la potencia reactiva inducida. (SGS, 2022)

Las pérdidas mecánicas pueden dividirse en pérdidas por fricción y pérdidas por ventilación. Las pérdidas por fricción dependen de la velocidad y se producen, por ejemplo, en los rodamientos. Para mantener las pérdidas por fricción lo más bajas posible, los rodamientos deben estar siempre suficientemente lubricados. Por lo tanto, los rodamientos no deben calentarse demasiado, ya que de lo contrario el lubricante se evaporaría. Las pérdidas por fricción también se producen en las escobillas de los motores síncronos de excitación separada y en los colectores de los motores de corriente continua. Las pérdidas por ventilación se producen en los motores eléctricos con rotores no redondos y también dependen de la velocidad. Por ejemplo, los motores SR o los motores síncronos excitados por separado tienen rotores que no son redondos. Al encapsular el

estator y encintar el rotor, se puede reducir la ventilación. Si el encapsulado se realiza con el material adecuado, también puede mejorar la disipación del calor. La ventilación en los motores eléctricos también puede utilizarse para transportar el calor fuera del centro del motor eléctrico. Esto distribuye mejor el calor en el motor eléctrico y reduce los puntos calientes. (Oswos, 2024)

Las pérdidas por dispersión son la dispersión de componentes y materiales. Pero también la dispersión en el proceso de producción y las pequeñas desviaciones del diseño. Por lo tanto, las pérdidas parásitas son difíciles de estimar y pueden ascender a aproximadamente un 1% en el caso de los motores eléctricos con carga máxima. (Oswos, 2024)

Las corrientes de Foucault se producen cuando cambia el flujo magnético en el estator. Las corrientes parásitas generan pérdidas en el estator y lo calientan. Para reducir las pérdidas, el estator se divide en láminas separadas y aisladas entre sí. Esto reduce significativamente las pérdidas por corrientes parásitas. Cuanto más finas sean las láminas, menores serán las pérdidas por corrientes de Foucault en la lámina. (Oswos, 2024)

Las pérdidas en el hierro pueden dividirse en pérdidas por histéresis, por corrientes parásitas y adicionales. Las pérdidas de hierro se indican por peso y dependen de la frecuencia y de la densidad de flujo máxima. Esto significa que cuanto más rápido gire el motor, mayores serán las pérdidas en el hierro. Y cuanto más pequeño sea el diseño del motor eléctrico, menos espacio habrá para el flujo magnético y mayor será la densidad de flujo. Las constantes de proporcionalidad  $C$  dependen del material y de su procesamiento. Las pérdidas de hierro se producen principalmente en el estator y el rotor, pero también pueden producirse pérdidas por corrientes parásitas en los imanes permanentes. Las pérdidas en los imanes suelen ser bajas, pero son críticas porque los imanes no suelen tener una buena resistencia a la temperatura. (Oswos, 2024)

Pérdidas por histéresis. Los materiales magnéticos se dividen en muchos dominios pequeños, cada uno con una orientación magnética diferente. Cuando la orientación magnética de los dominios cambia, se producen pérdidas. Estas pérdidas por remagnetización se denominan pérdidas por histéresis porque el material sufre histéresis

durante la magnetización. Las pérdidas dependen de la zona de histéresis que atraviesa el material durante la remagnetización. Para mantener las pérdidas bajas, se utilizan materiales magnéticos blandos como las láminas eléctricas con una curva de histéresis pequeña. (Oswos, 2024)

Las pérdidas óhmicas se producen principalmente en los devanados del estator y dependen de la resistencia y la corriente. Las pérdidas óhmicas pueden dividirse en dependientes e independientes de la frecuencia. Las pérdidas independientes de la frecuencia dependen de las dimensiones, es decir, de la longitud y la sección transversal del cable, así como del material, por ejemplo, el cobre. Un fuerte aumento de la temperatura del motor también aumenta la resistencia y, por tanto, también las pérdidas. Siempre hay que asegurarse de que el motor eléctrico esté bien refrigerado, ya que de lo contrario la temperatura de los bobinados aumentará rápidamente. Las pérdidas óhmicas dependientes de la frecuencia aumentan con el incremento de la frecuencia, debido al efecto piel. (Oswos, 2024)

La Unión Europea define actualmente una serie de estándares para la eficiencia energética de sus países integrantes (International Efficiency Standards) entre los que destacan los enfocados a motores y generadores eléctricos. El Comité Europeo de Fabricantes de Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia emitió un primer acuerdo para los fabricantes de motores estableciéndose tres clases de eficiencia (EFF 1 de alta eficiencia, EFF 2 de Eficiencia Estándar, EFF 3 de baja eficiencia). En la actualidad y a nivel europeo, los niveles mínimos de eficiencia requeridos a los motores eléctricos empleados en la industria vienen definidos a partir de los “IE Standards” vigentes desde el año 2005.

El IE1 Standard Efficiency, exige un rendimiento mínimo al motor eléctrico del orden de 85%.

El IE2 High Efficiency, exige un rendimiento mínimo al motor del 88%, y que es aplicado a los motores de inducción instalados a partir del 2011.

El IE3 Premium Efficiency, que exige un rendimiento mínimo al motor del 90,4%, y que es de aplicación desde enero de 2017 para motores de inducción trifásicos de velocidad constante y potencias que varían en 0,75 kW y 375 kW.

El IE4 Super Premium Efficiency, exige un rendimiento mínimo a los motores de 92,5%. (García, 2020)

## **2.3 Desempeño energético.**

### **2.3.1 Generalidades.**

Los sistemas de gestión de la energía fueron identificados para lograr el potencial de ahorro de energía en el sector industrial. La implementación de sistemas de gestión de la energía permitirá a las empresas identificar su potencial para ahorro de energía y para reducir su consumo energético. La eficiencia energética está ampliamente influenciada por los procesos que toman lugar en los niveles de ingeniería, física y tecnología. Se espera que los datos estadísticos en este contexto a nivel macro reflejen esos efectos en forma integrada. Sin embargo, la discrepancia entre la eficiencia real a nivel micro y diversas medidas económicas adicionados a la fórmula de eficiencia energética puede dificultar una agregación (de información) apropiada, y, posteriormente puede formar tendencias de eficiencia energética, que no están sustentadas por cambios reales a niveles más bajos, sino más bien, ocasionados por factores económicos. (Méndez & Montalvo, 2019)

Según la Norma ISO 50001:2018, el Desempeño Energético esta referido a los “resultados medibles referentes a la eficiencia del consumo de la energía”. Según la norma internacional, este término implica evaluar el desempeño de un sistema energético teniendo en cuenta los objetivos y metas establecidas, con lo cual los indicadores de desempeño realizan la función medible de las maquinas, sistemas o procesos que la organización ha establecido para evaluar. (Hernández, 2018)

El desempeño energético, analiza el uso significativo de la energía, identificando a través de herramientas de análisis como las matrices de prioridades, diagramas de Pareto, o diagramas causa raíz o a través de métodos probabilísticos, el grado de acercamiento a la política energética establecida dentro de una organización. En este caso la política energética es establecida por la alta dirección en la cual se enuncia los alcances del control energéticos y metas propuestas a alcanzar. El alcance energético se refiere a la delimitación de las áreas o equipos a evaluar, del mismo modo identificando el tipo de insumo energético asociado que puede ser combustible o electricidad. (Hernández, 2018)

El Desempeño Energético es un término que implica a la relación existente entre el rendimiento energético, el uso eficiente y el consumo energético en sus diversos aspectos. Estos son los términos conceptuales que se deben manejar y tener en cuenta en una organización o institución que consume energía para un eficaz uso en sus actividades. La norma ISO 50001:2018 brinda los lineamientos para la evaluación del desempeño energético y el cumplimiento de sus metas y objetivos propuestos a través de su plan de acción y el alcance de sus indicadores desempeño o KPI (key performance Indicators). Actualmente es relevante importancia para aquellas empresas que deben presentar una mejor imagen a nivel internacional. Con los aspectos contemplados en la norma ISO 50001 se puede tener una mejor gestión de la energía. (García, 2024)

Los indicadores de desempeño energético, son las expresiones y valores usados para monitorear, controlar y/o supervisar cambios en el rendimiento de la energía, y reducir pérdidas energéticas en cualquier proceso productivo lo que permite, a cualquier organización a través de gestión, establecer planes estratégicos para alcanzar metas a corto, mediano y largo plazo, así como obtener y mantener altos niveles de eficiencia energética; pueden expresarse como una simple medida, un cociente o un modelo más complejo. Dado que el desempeño energético se relaciona con la manera en que la energía es empleada, la cantidad de energía que es consumida, y la eficiencia con la que la energía se usa para lograr un resultado deseado, es importante notar que rara vez este puede ser representado con un solo valor o medida. (Ibarguen, et. al., 2017)

El desempeño energético incluye una serie de conceptos que presentan relación directa con la manipulación energética para cualquier organización que quiera tener un 41 desempeño energético eficaz, de tal firma que deberá cumplir con los lineamientos para poder certificarse. El desempeño energético presenta a la organización elementos clave para la medición y cuantificación del estado del Sistema de Gestión de la Energía. Esto se consigue controlando los KPI energéticos sobre una línea base energética planteada para los diversos insumos energéticos que manipulen, buscando la excelencia del desempeño energético. (Yutzil, 2019)

El concepto de ecoeficiencia fue desarrollado por el CEMDS5 en 1992, y se refiere a contribuir al aumento de la prosperidad económica con un uso más eficiente de los

recursos y menos generación de emisiones, lo cual está englobado con los objetivos que persigue el desempeño energético. La ecoeficiencia es obtenida por la “entrega de bienes y servicios con precios competitivos que satisfacen las necesidades humanas y traen mayor calidad de vida, con una reducción progresiva de los impactos ambientales de los bienes y servicios a través de todo el ciclo de vida para un nivel, como mínimo, acorde con la capacidad estimada que el planeta puede soportar”. En otras palabras, ecoeficiencia significa: producir más con menor o igual cantidad de recursos. (Madariaga, 2013)

Realizar el estudio del desempeño energético requiere de información fiable y clara sobre cómo, cuándo y dónde se utiliza la energía. La recopilación y el seguimiento de esta información son necesarios para establecer correctamente indicadores de desempeño energético y líneas de base energéticas, ya que a través de estos se demuestra la mejora continua del desempeño energético. El estudio del desempeño energético puede realizarse como parte de los procedimientos de la organización, o bien se puede tener a un proveedor de este servicio. Los usuarios con un alto consumo de energía a menudo cuentan con personal dedicado y sistemas de adquisición de datos para un manejo centralizado de la información. (Flores & Jauregui, 2020)

### **2.3.3 Línea base energética.**

Es una representación que representa el comportamiento o evolución de un proceso, área o actividad, también es una referencia cuantitativa con la que se mide el desempeño energético de una empresa, instalación u organización y que se caracteriza por ser registrada y actualizada periódicamente. La Línea base seleccionada es un valor, proporción o cociente que describe el estado del indicador de desempeño energético para un periodo inicial de tiempo. Se elabora a partir de los datos de consumo de energía de por lo menos 6 meses y se elabora de la variable de mayor influencia sobre el consumo, por lo tanto se debe definir, cuantificar y medir esta variable. La variable significativa varía en dependencia del objetivo de la organización y de sus necesidades. (Quezada, 2020)

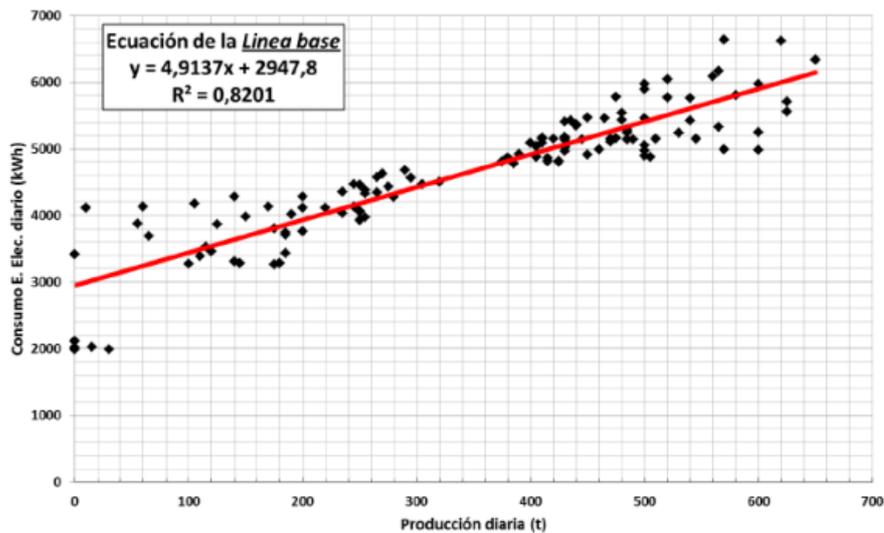
Los datos estadísticos analizados deben ser representativos del comportamiento o evolución del consumo de energía, generalmente combustibles o energía eléctrica. La línea base se representa a través de la media aritmética de los indicadores energéticos en

un periodo de tiempo a través de un histograma o mediante un diagrama de dispersión comparando el indicador de desempeño energético con la unidad de producción o servicio, para esto se debe tener en cuenta de que no hayan existido variaciones en los procesos, servicios, cambios tecnológicos, operacionales etc. (Quezada, 2020)

La línea base es una referencia cuantitativa que proporciona la base para la comparación del desempeño energético. La línea de base energética se fundamenta en los datos de un período de tiempo especificado y/o las condiciones, según lo defina la organización o empresa que se decide a implementarla. Las líneas de base energéticas se usan para la determinación de la mejora del desempeño energético, como referencia antes y después, o con y sin la implementación de acciones de mejora del desempeño energético. La organización debe establecer una(s) línea base energética utilizando la información de la revisión energética inicial y considerando un periodo para la recolección de la información relevante. Los cambios en el desempeño energético deben medirse en función a la línea base energética. (Quezada, 2020)

Figura 17

*Línea Base Energética*



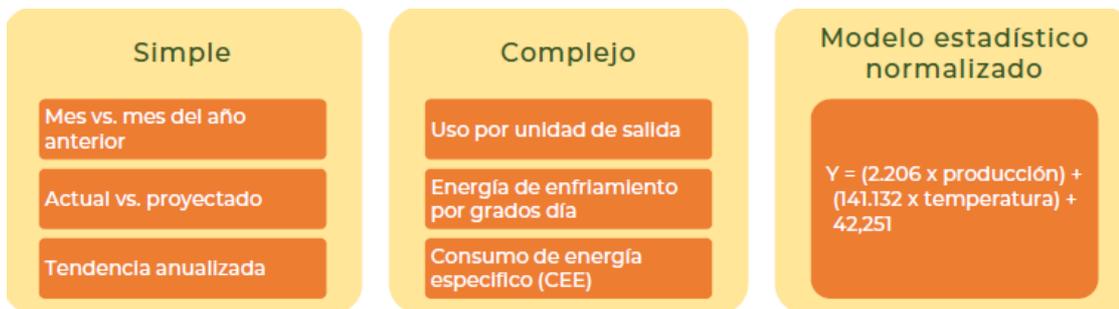
*Nota.* Imagen tomada de Quezada (2020)

La referencia cuantitativa con la cual se compara el nivel de consumo y eficiencia de los usos de la energía de una organización es llamada línea base energética (LBEn), y puede ser más de una. Otra característica de la LBEn, al igual que los IDEn, es que puede

representarse en diversos niveles de complejidad y niveles dentro de la organización. Una de las primeras acciones es el establecimiento de un tiempo de análisis idóneo, que represente los periodos cíclicos operativos de trabajo de la organización y que satisfaga los requisitos de los interesados o las variables que alteran el desempeño energético. Los datos para el establecimiento de la primera LBEn se toman durante la revisión energética y puede ser determinada con diversas metodologías: desde información de consumo de un periodo anterior o el promedio de consumo entre varios periodos, llegando a una relación matemática que contenga el consumo o eficiencia energética en función de las variables identificadas. (Flores & Jauregui, 2020)

Figura 18

*Nivel de Complejidad para elaborar una línea base energética*



*Nota.* Imagen tomada Guía de Implementación CONEE México (2020)

Cuando las variables impactan de manera relevante al desempeño energético, se requiere la normalización de los valores de los IDEn y la correspondiente LBEn con el propósito de hacer un benchmarking confiable bajo condiciones similares de operación; en otras palabras, la normalización permite la modelación de los datos de consumo de energía con respecto a las variables de interés. Para ello se emplean métodos estadísticos como la regresión lineal, u otro tipo de modelo que sea relevante para las variables. (Flores & Jauregui, 2020)

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

y es la variable dependiente: el consumo energético o un valor de rendimiento durante un periodo de tiempo establecido (periodo de datos energéticos).

$x_i$  ( $i=1,2,3,\dots$ ) representan las variables relevantes independientes, que provienen del grupo de variables relevantes, por lo que representan valores cuantitativos  
 $b_i$  ( $i=0,1,2,3,4, n$ ) representan los coeficientes de cada variable relevante y un coeficiente fijo no asociado con las variables independientes ( $b_0$ ).

Una definición sencilla de línea base energética esta referida a la representación del comportamiento de los IDEn durante un periodo de tiempo definido. La línea base es un conjunto de datos que, al ser normalizados con respecto a las variables relevantes, proporcionan una proyección del comportamiento entre variables. Los modelos matemáticos de regresión lineal no tienen que ser aceptados o rechazados basándose únicamente en el valor de regresión  $r^2$ . Es necesario la consideración de otros factores tal como la varianza, la curtosis, asimetría, percentiles, por lo cual es recomendable el empleo de estadística descriptiva como inferencial. En conjunto, LBE y IDEn son empleados como herramientas para el monitoreo permanente del desempeño energético y para la toma de acciones correctivas en caso de que en algún periodo se presenten desvíos a lo planificado. (Flores & Jauregui, 2020)

Figura 19

*Límites del coeficiente de correlación  $r^2$*

<i>Descripción</i>	<i>Límites de <math>r^2</math></i>
<b>Correlación Perfecta</b>	$r=1$
<b>Correlación Excelente</b>	$0,90 < r < 1$
<b>Correlación Aceptable</b>	$0,80 < r < 0,90$
<b>Correlación regular</b>	$0,60 < r < 0,80$
<b>Correlación Mínima</b>	$0,30 < r < 0,60$
<b>No hay correlación</b>	$0 < r < 0,30$

*Nota.* Imagen tomada de Ibarguen, et. al. (2017)

Dentro de las premisas para elaborar una línea base energética tenemos:

- Es un modelo matemático que describe el comportamiento o evolución del consumo de energía de un sistema energético con un nivel de certeza y precisión adecuada.
- Se elabora en relación a un modelo que puede ser univariable o multivariable.
- Depende de la cantidad de variables significativas que no dependen de la operación y el mantenimiento.

- El modelo de línea base energética puede ser función de un modelo determinístico físico, matemático o un modelo estadístico matemático. Los modelos determinísticos son muy complejos, pero de más exactitud y confiabilidad, los modelos estadísticos son de fácil elaboración e interpretación, pero requiere de información histórica confiable y un previo conocimiento de cómo se alteran los cambios del proceso en el modelo representado.
- La variable dependiente del modelo es siempre la energía eléctrica o térmica.
- Las variables independientes del modelo son las que dependen de la operación o del mantenimiento, representan la unidad de producción o servicio brindada. (Quezada, 2020)

### **2.3.3 Indicadores de desempeño energético.**

Los indicadores de desempeño energético, son las expresiones y valores usados para monitorear, controlar y/o supervisar cambios en el rendimiento de la energía, y reducir pérdidas energéticas en cualquier proceso productivo lo que permite, a cualquier organización a través de gestión, establecer planes estratégicos para alcanzar metas a corto, mediano y largo plazo, así como obtener y mantener altos niveles de eficiencia energética; pueden expresarse como una simple medida, un cociente o un modelo más complejo. Dado que el desempeño energético se relaciona con la manera en que la energía es empleada, la cantidad de energía que es consumida, y la eficiencia con la que la energía se usa para lograr un resultado deseado, es importante notar que rara vez este puede ser representado con un solo valor o medida. (Ibarguen, et. al., 2017)

Los indicadores de desempeño energético deben contar con las siguientes características

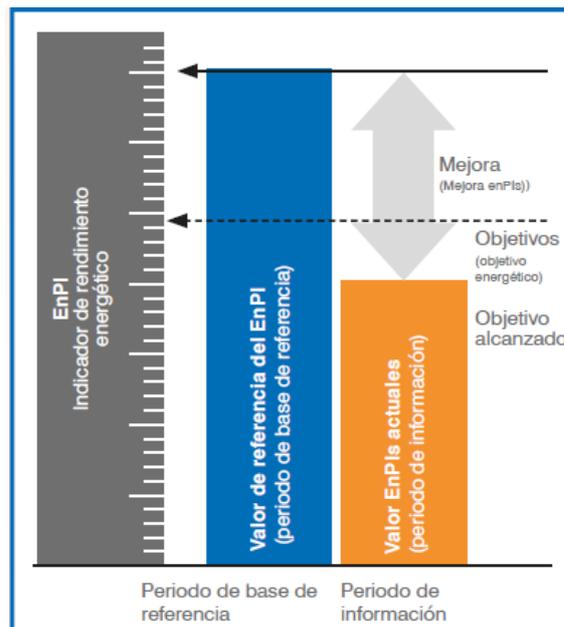
- Basados en información de alta confiabilidad.
- Ser transparentes y verificables.
- Estar basado en información específica con relación al proceso/sistema y para un determinado tiempo.
- Pueden medir los cambios en una condición o situación en función del tiempo.
- Facilitan la observación de cerca de los resultados obtenidos.
- Son instrumentos valiosos para determinar el acercamiento de la optimización en el consumo de energía.

Aplicando esta definición en el contexto al medio ambiente, los indicadores son una importante herramienta de medida, que permiten expresar los resultados relativos al desempeño ambiental y acompañar la evolución de las empresas en la implementación de acciones que conllevan a mejorar en el camino de la sustentabilidad. (Ibarguen, et. al., 2017)

La forma en que se determinan y actualizan los IDEs tiene que mantenerse como información documentada. Un IDEs es un análisis que se utiliza para comparar el rendimiento energético antes (valor de referencia de IDEs) y después (valor de IDEs resultante o actual) de la implementación de planes de acción y otras acciones, tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

Figura 20

*Estrategias para alcanzar mejoras en los IDEs*



*Nota.* Imagen tomada de Ibarguen, et. al. (2017)

Los datos de energía tienen una importancia crítica en la implementación del SGen y en el seguimiento y la mejora del desempeño energético, al ser uno de los pilares de la gestión y la fuente para describir y proyectar el desempeño energético en el tiempo. Para asegurar que las características claves relacionadas con el desempeño energético sean identificadas, medidas, con seguimiento y analizadas a intervalos planificados, es necesario que los datos relacionados con esas características sean recopilados de manera

sistemática. Para ello, se requiere la definición de un plan de seguimiento del desempeño energético, que puede ser desde una simple hoja de cálculo hasta un sistema de información tecnológica. Es importante especificar dentro del plan cuales datos son necesarios, la frecuencia de recopilación, la calidad –incluido el personal responsable– y el tiempo de resguardo. (Flores & Jauregui, 2020)

Los datos necesarios incluyen:

- Las variables relevantes para los Usos significativos de la energía. (USEn)
- El consumo de energía relacionado con los USEn y la organización.
- Los criterios operacionales relacionados con los USEn.
- Los factores estáticos (en caso de existir).
- Los datos contenidos en los planes de acción. (Flores & Jauregui, 2020)

Un indicador de desempeño energético (IDEs) es lo que tradicionalmente conocemos como indicador clave de desempeño (KPI), pero en este caso, en relación al uso, consumo y eficiencia energéticos. Es decir, un IDEs es un valor cuantitativo que pretende medir y aportar información sobre el desempeño energético de una organización. Debe ser cuantificable y objetivo, de manera que permita realizar un seguimiento o medición de las diferentes variables y la comparación entre indicadores. Por lo general, son parámetros medidos, ratios o modelos. (López, 2023)

Los Indicadores Energéticos, también conocidos como consumos específicos, ratios energéticas, números energéticos característicos son parámetros que nos permiten medir la eficiencia energética en términos de comparar las unidades de energía consumida o su equivalente en volumen o la facturación de esta en relación a las unidades productivas o de servicio generadas. Estos se construyen en función a las características de cada planta consumidora de energía analizada, ya sea de producción o de servicios. (Guevara, 2020)

El cálculo de los parámetros relacionados a la intensidad energética (alto consumo de energía en usos significativos de energía) permitirá determinar el nivel del uso eficiente de la energía y de la dinámica del consumo de energía, el controlling posibilita la realización de los benchmarking energéticos entre indicadores de diversos centros de consumo de energía. (López, 2023)

Tenemos los siguientes Indicadores energéticos en función a la energía primaria:

Indicadores de desempeño energéticos técnicos: Los siguientes Indicadores están referidos al consumo de energía térmica asociada al combustible consumido y la energía eléctrica u otro insumo energético, en relación a la unidad de producción o de servicio característica. (Guevara, 2020)

$$IDEs T = \frac{\text{Unidad de energía o asociada a la energía/mes}}{\text{Unidad de producción/mes}} \dots \dots \dots (6)$$

Indicador de desempeño energético Eléctrico: Tenemos la comparación de la Máxima Demanda Mensual entre las toneladas de harina de pescado producidas. La selección adecuada de los equipos consumidores de vapor incidirá en el tamaño de la demanda eléctrica a cubrir por los motores eléctricos asociados a los equipos consumidores de vapor. Este Indicador también se puede sectorizar en función a una determinada área en especial, o también en función a los bloques horarios (Horas Fuera de Punta o Horas Punta). (Guevara, 2020)

$$IDEs E = \frac{\text{Facturación por energía eléctrica o asociada a la energía térmica/mes}}{\text{Unidad de producción/mes}} \dots \dots \dots (7)$$

Los Indicadores de desempeño Energéticos Ambiental: Los Indicadores Energéticos Ambientales nos permiten comparar las emisiones de dióxido de carbono equivalentes emitidos a la atmósfera por el consumo de energía eléctrica o flujo de combustible asociado a la energía térmica como fuente de energía primaria por cada unidad de producción o de servicios. (Guevara, 2020)

$$IDEs A = \frac{\text{Ton CO2 emitidos por consumo de energía eléctrica o asociada a la energía térmica/mes}}{\text{Unidad de producción/mes}} \dots \dots \dots (8)$$

El “benchmarking” energético es un estudio comparativo, se desarrolla para conocer el estado del consumo energético de varias empresas del mismo sector, y comparar de manera sistematizada las distintas características del consumo de energía. Es una información muy valiosa para detectar la excelencia energética y así, tomar decisiones sobre reformas o nuevas inversiones, sin tener que reinventar desde cero, reduciendo costos y tiempo. (Guevara, 2020)

## **2.4 Evaluación económica.**

### **2.4.1 Capex y Opex.**

CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operational Expenditure) son términos financieros que diferencian los tipos de gastos en una empresa. CAPEX son inversiones en activos a largo plazo, amortizadas a lo largo del tiempo. OPEX son gastos operativos diarios, deducidos anualmente. (Sydle, 2023)

CAPEX es una sigla en inglés que significa Capital Expenditure, o en español, "gastos de capital". Incluye los recursos destinados a los bienes de capital, como activos intangibles que ayudarán a mantener o incluso expandir la producción y las ganancias de la empresa. Es un indicador importante para mostrar cuánto capital reserva la organización para adquirir máquinas, bienes raíces y otros activos. Se caracteriza por:

- Incluye inversiones a largo plazo.
- Ofrece beneficios a lo largo del tiempo.
- Tiene un gran impacto en el flujo de efectivo.
- Puede sufrir depreciación con el tiempo. (Sydle, 2023)

Por otro lado, OPEX significa Operational Expenditure, o "gastos operativos" en español. Como su nombre indica, se refiere a las inversiones en bienes operativos. Ejemplos destacados incluyen el mantenimiento de equipos, mano de obra, nómina, adquisición de combustible, entre otros. Características de OPEX:

- Incluye gastos a corto plazo, necesarios para el funcionamiento diario de la empresa.
- La optimización de procesos ayuda a reducir estos gastos.
- Son fundamentales para la operacionalización de las actividades diarias del negocio. (Sydle, 2023)

## 2.4.2 Indicadores de rentabilidad.

El Valor Actual Neto (VAN) representa el valor actual de los flujos de efectivo netos de una propuesta, donde estos flujos netos son la disparidad entre los ingresos y los egresos en intervalos periódicos. Este indicador sirve como medida de la rentabilidad mínima requerida por el proyecto para recuperar la inversión, cubrir los costos y generar beneficios. (Guevara & García)

Al evaluar el VAN se presentan tres posibilidades:

- Si el VAN > 0, La Inversión produce ganancias sobre la rentabilidad exigida, por lo cual, se sugiere aceptar el Proyecto.
- Si el VAN < 0, entonces la Inversión producirá ganancias por debajo de la rentabilidad exigida, por lo tanto, el proyecto debe rechazarse.
- Si el VAN = 0, entonces la Inversión no produce ganancias ni pérdidas, por lo tanto, como el proyecto no aporta valor monetario por encima de la rentabilidad exigida, la decisión deberá tener en cuenta criterios no asociados a la rentabilidad, tal como obtener un mejor posicionamiento en el mercado.

El Valor del VAN se determina con la presente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

$V_t$  = Flujo de caja anual ( U\$/año)

$i$  = Tasa de interés (12 % en el mercado nacional)

$I$  = Inversión inicial realizada ( U\$)

$t$  = Tiempo en años

Para la determinación del  $V_t$  se tiene la siguiente ecuación:

$$V_t = A_t - CO_t \dots \dots (10)$$

Donde:

$A_t$  = Representan los ingresos, ahorros o ganancia obtenida en cada periodo de tiempo de duración del proyecto.

$CO_t$  = Egresos por Costos de Operación y Mantenimiento anual.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se describe como la tasa de descuento que hace que el valor actual de los ingresos de un proyecto sea igual al valor actual de los egresos. Este indicador evalúa la rentabilidad de un proyecto al determinar la tasa máxima de retorno que podría generar beneficios, facilitando así la decisión de aceptar o rechazar el proyecto. (Guevara & García)

Al ejecutar la evaluación del TIR se tienen tres soluciones:

- Cuando la TIR > tasa de descuento (r): El proyecto se acepta.
- Cuando la TIR = r: El proyecto se posterga.
- Cuando la TIR < tasa de descuento (r): El proyecto no se acepta.

La TIR se evalúa con la siguiente ecuación:

$$VAN = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} \dots (11)$$

### III. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1 Material:

##### 3.1.1 Compresores.

##### Motocompresor XAS 186 Atlas Copco.

Tabla 1

*Especificaciones técnicas de Motocompresor XAS 186 Atlas Copco*

Características del Motor de Combustion interna	
Modelo	John Deere 4045HFC04
Tipo	Alternativo
Aspiración	Sobrealimentado y posenfriado aire-aire
Rendimiento	50%
Potencia máxima/mínimo	93 kW/86 kW
Diseño	4L
Relacion de compresión	17:1
Par máximo	506 Nm
Cilindrada	4,5 litros
Combustible	Petroleo DB5
Consumo de petróleo DB5	3-4,5 gal/h
Velocidad de descarga	1 500 rpm
Control	Automático mediante controlador XC2003
Características del compresor	
Tipo	Tipo Rotativo de tornillo asimétrico, lubricado de una etapa
Caudal máximo	9,8 -11,3 m <sup>3</sup> /min
Presión	7-10 bar
Rendimiento	75%
Nivel de ruido	72 dB (ISO1217 ed. 3 1996 anexo D)
Peso	2 340 kg

*Nota.* Informacion tomada de Atlas Copco.

Figura 21

*Motocompresor XAS 186 Atlas Copco*



*Nota.* Imagen tomada de Empresa Atlas Copco.

Figura 22

*Motocompresor XAMS 407 Atlas Copco*



*Nota.* Imagen tomada de Empresa Atlas Copco.

## Motocompresor XAMS 407 Atlas Copco.

Tabla 2

### *Especificaciones técnicas de Motocompresor XAMS 407 Atlas Copco*

Características del Motor de Combustion interna	
Modelo	Caterpillar C7acert T3
Tipo	Alternativo
Aspiración	Sobrealimentado y post-enfriado aire-aire
Rendimiento	50%
Potencia máxima/mínimo	186 kW
Diseño	6L
Relacion de compresión	17:1
Par máximo	450 Nm
Cilindrada	7,2 litros
Combustible	Petroleo DB5
Consumo de petróleo DB5	5-6,5 gal/h
Velocidad de descarga	1 500 rpm
Control	Automático mediante controlador XC2002
Características del compresor	
Tipo	Tipo Rotativo de tornillo asimétrico, lubricado de una etapa
Caudal máximo	24 m <sup>3</sup> /min
Presión	8,6 bar
Rendimiento	75 %
Nivel de ruido	72 dB (ISO1217 ed. 3 1996 anexo D)
Peso	3400 kg

*Nota.* Informacion tomada de Atlas Copco.

## Electrocompresor LS90S Sullair.

Tabla 3

### *Especificaciones técnicas de Electrocompresor LS90S*

Características del Motor eléctrico	
Tipo	Motor premium efficient, TEFC - Modelo con velocidad variable: (VSD)
Potencia	90 kW
Eficiencia	92,5%
Tensión	220/380 v
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1 800 rpm
Detalle	Aislamiento Clase F, elevación Clase B para operación a temperatura elevada
Tipo de arranque	Estrella-Delta/NEMA 4
Características del compresor	
Tipo	Doble tornillo de velocidad variable
Caudal máximo	18/16,8/14,8/13,3 m <sup>3</sup> /min
Presión	7,6/8,6/10,3/12 bar
Rendimiento	80%
Nivel de ruido	75 dB
Peso	2 650 kg
Enfriamiento	Aire
Controles	Pantalla Táctil Sullair de 10"
Monitoreo a distancia	AirLinx*
	Monitoreo de presión. Monitoreo de temperatura del compresor. Monitoreo de horas de operación y de servicio. Monitoreo de horas de operación. Alertas para servicio y análisis de advertencias. Datos almacenados a intervalos de 15 minutos

*Nota.* Información tomada de Sullair.

Tabla 4

*Especificaciones técnicas de Electrocompresor LS160S*

Características del Motor eléctrico	
Tipo	Motor premium efficient, TEFC - Modelo con velocidad variable: (VSD)
Potencia	160 kW
Eficiencia	92,5%
Tensión	220/380 v
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1 800 rpm
Detalle	Aislamiento Clase F, elevación Clase B para operación a temperatura elevada
Tipo de arranque	Estrella-Delta/NEMA 4
Características del compresor	
Tipo	Doble tornillo de velocidad variable
Caudal máximo	30,3/29/ 27,8/24,8 m <sup>3</sup> /min
Presión	7/ 7,6/8,6/10,3 bar
Rendimiento	80%
Nivel de ruido	75 dB
Peso	3 416 kg
Enfriamiento	Aire
Controles	Pantalla Táctil Sullair de 10"
Monitoreo a distancia	AirLinx*
	Monitoreo de presión. Monitoreo de temperatura del compresor. Monitoreo de horas de operación y de servicio. Monitoreo de horas de operación. Alertas para servicio y análisis de advertencias. Datos almacenados a intervalos de 15 minutos

*Nota.* Informacion tomada de Sullair.

Figura 23

*Electrocompresor LS160S Sullair*



*Nota.* Imagen tomada de Empresa Sullair.

### 3.1.2 Estadísticas de operación.

Tabla 5

*Información de operación Agosto 2022-Abril 2023-Combustible*

Año	Mes	XAS 186 Atlas Copco (Pintado)		XAMS 407 Atlas Copco (Arenado)	
		Horas de Operación	Consumo de combustible (Galón)	Horas de Operación	Consumo de combustible (Galón)
2022	Agosto	130	306,4	220	1006,0
	Setiembre	80	201,3	140	704,0
	Octubre	88	210,6	145	733,0
	Noviembre	84	199,8	180	864,0
	Diciembre	125	333,7	184	904,0
2023	Enero	82	208,3	145	695,0
	Febrero	125	311,4	215	989,0
	Marzo	82	197,6	142	765,0
	Abril	78	223,0	135	757,0

*Nota.* Información tomada de Astillero Ferroles.

Tabla 6

*Información de operación Agosto 2022-Abril 2023-Tonelaje*

Año	Mes	Barco (Ton)			Chata (Ton)	Barco (N°)	Chata (N°)
		250	300	400	50		
2022	Agosto	1		1	1	2	1
	Setiembre		1		1	1	1
	Octubre	1	0		1	1	1
	Noviembre		2		0	2	0
	Diciembre		1	1	1	2	1
2023	Enero			1	0	1	0
	Febrero	1	1		0	2	0
	Marzo		1		1	1	1
	Abril			1	1	1	1

*Nota.* Información tomada de Astillero Ferroles, donde la unidad Ton. esta referido a la capacidad de almacenamiento (Toneladas de acero) de la embarcación y desplazamiento de la chata.

### 3.2 Método.

**3.2.1** El presente trabajo de investigación es del tipo pre-experimental, aplicada.

**3.2.2** El diseño de la investigación es no experimental, ya que no manipula deliberadamente variables. Se basa en la observación de los fenómenos tal y como se presentan en su contexto natural y luego son analizados. Y de tipo longitudinal, cuando se requiere analizar cambios por parte del investigador a través del tiempo en determinadas variables o analizar las relaciones entre estas.



O1: Indicadores de desempeño energético con motocompresores.

O2: Indicadores de desempeño energético con electrocompresores.

X: Cambio de compresores desde motocompresores a electrocompresores.

G.E: Sala de generación de aire comprimido de Astillero Ferroles.

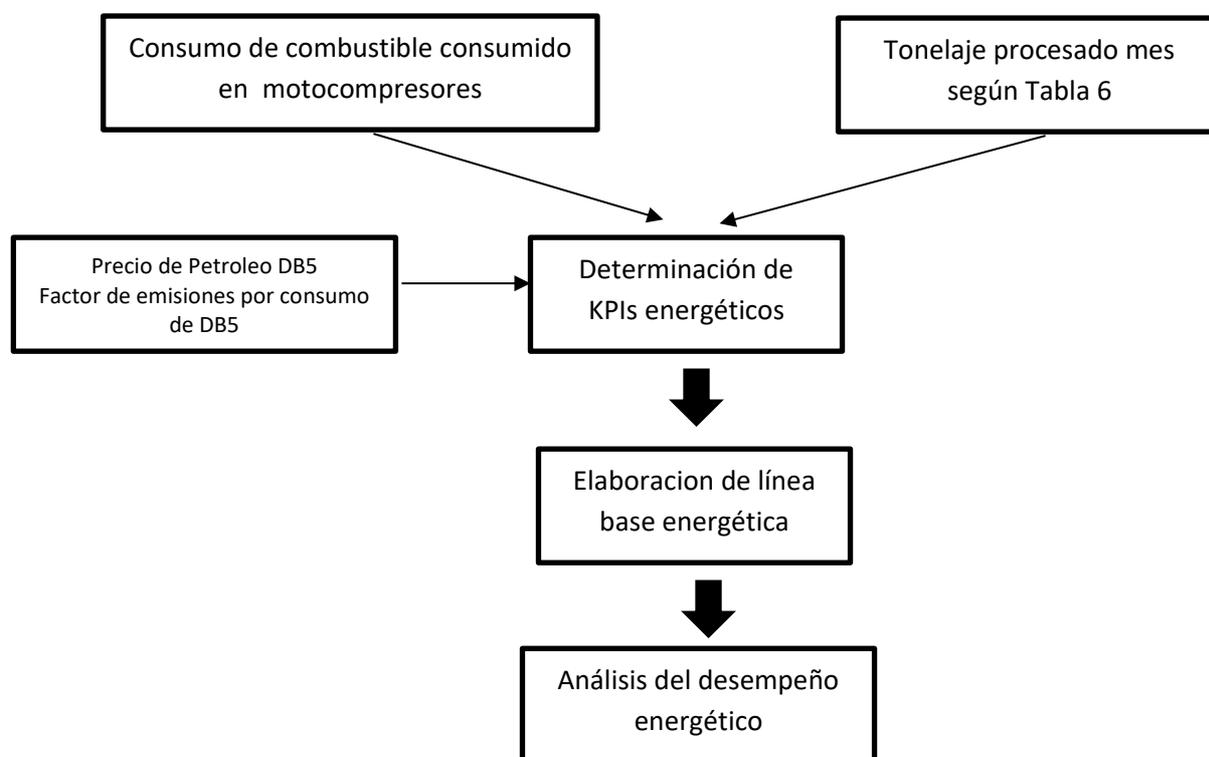
### 3.2.4 Metodología de cálculo:

Se detalla la secuencia de cálculo en la determinación de resultados y discusión realizado del presente informe se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento metodológico.

- Determinación del desempeño energético en la red de aire comprimido de Astillero Ferroles operando como motocompresores.

Figura 24

*Secuencia metodológica para determinación del desempeño energético con motocompresores*



*Nota.* Elaboracion propia.

- En el anexo 14 se detalla la informacion adicional consumida por las restantes áreas conformantes de los Astilleros Ferroles.
- Para la determinación de la línea base energética se empleó el MODELO DE LINEA BASE CUANDO LOS CAMBIOS CUALITATIVOS DE LA VARIABLE SIGNIFICATIVA PUEDEN INFLUIR EN LOS CAMBIOS DE CONSUMO DE ENERGIA, basado en el Contenido del Manual en SGen de la ONUDI para la Norma ISO 50001.

<https://guiaiso50001.cl/guia/wp-content/uploads/2017/05/linea-base-indicadores-de-desempeno-P-3-AP-1.pdf>

La cual consta de los siguientes pasos secuenciales:

Paso 1: Se debe identificar la variable significativa de estudio en función a la unidad relevante de producción por unidad de tiempo, y además la serie de tiempo debe tener por lo menos 6 valores mensuales.

Variable significativa = Tonelaje procesado/mes.

Variable asociada= Consumo de combustible/mes.

Indicador de desempeño (IDEs) = Consumo de combustibles/Tonelaje procesado.

Paso 2: Construcción del diagrama de dispersión IDEs vs Variable significativa. Incluye la ecuación de la recta. Donde su construcción está definida por un conjunto infinito de puntos, que caracterizan a los IDEs meta de la serie de datos.

Paso 3: En el análisis del diagrama de dispersión todos los puntos ubicados sobre la línea base energética, son IDEs de menos desempeño comparados a los IDEs meta, por lo tanto, luego de identificarlos se determina el exceso de combustible asociado al IDEs en análisis con referencia valor del IDEs meta, según la siguiente ecuación:

$$\text{Exceso de combustible}_i = (IDE_s - IDE_{s\ meta})_i * \text{Variable significativa}_i$$

(12)

Donde  $i$  es el mes en el cual el IDEs toma un valor sobre los puntos de la línea base energética. Del mismo modo se menciona que tan solo para los IDEs económicos se tomara en cuenta el valor acumulado por compra de combustible y energía eléctrica en tarifa MT4.

- Dimensionamiento del sistema de aire comprimido de la sala de compresores de Astillero Ferroles.

Toda instalación de compresores cuenta con uno o más depósitos. Su tamaño se calcula en función de la capacidad del compresor, del sistema de regulación y del

patrón de consumo de aire comprimido. La función del depósito es almacenar el aire, enfriarlo, equilibrar las pulsaciones del compresor y recoger la condensación. Es por ello por lo que debe integrar un dispositivo de drenaje. En compresores de velocidad variable (VSD), se reduce considerablemente el volumen del depósito.

$$V = \frac{\dot{Q} * t}{p_1 - p_2} = \frac{L}{p_1 - p_2} \dots \dots (13)$$

Donde:

V= Volumen del depósito. (litros).

$\dot{Q}$  = Caudal de aire durante la fase del vaciado (litros)

t= duración de fase de vaciado(seg)

$p_1$  = presión normal de trabajo en la red (bar)

$p_2$  = presión mínima en los puntos de consumo (bar)

L= requisito de aire para la fase de llenado (litros/ciclo)

El dimensionamiento de la red de suministro es un paso de gran importancia. En este paso es en donde se puede realizar el mayor ahorro de operación si y solo si se hace un buen dimensionamiento. Esto se refleja en bajas caídas de presión durante su operación las cuales deben ser menor al 10% de la presión que demanda el sistema. Para ello se deben escoger bien los diámetros de las tuberías. Además, los diámetros de las tuberías se irán reduciendo conforme estas se alejen de la sala de compresores o, visto de otra forma, a medida que vaya disminuyendo el caudal que fluye por las tuberías.

Para poder obtener el diámetro de las tuberías que van a distribuir el aire comprimido en una instalación neumática, hay que seguir los siguientes pasos:

$$\dot{Q} = v * S \dots \dots (14)$$

Donde S es el área transversal de la tubería.

Como orientación, se puede considerar que la velocidad en la línea principal es de 6-10 m/s y en las acometidas de 15-20 m/s. (Fuente:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102434/Castell%20C3%B3%3BBarre%20ra%203BP%20C3%A9rez%20-%20Redes%20de%20distribuci%20n%20de%20aire%20comprimido%20y%20dimensionamiento%20del%20compresor.pdf?sequence=1>

El valor q es igual a la sumatoria de los caudales individuales de servicio:

$$\dot{Q} = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_i \dots \dots \dots (15)$$

Para el dimensionamiento del diámetro de las tuberías debe tenerse en cuenta lo siguiente:

Al tratarse de un conducto principal con velocidades bajas de circulación de aire se permite considerar la hipótesis de flujo incompresible. Se combinan las ecuaciones de los gases perfectos con las de flujo incompresible. En un tramo recto donde la única pérdida de presión es por fricción o en accesorios, se puede considerar la velocidad constante.

Para calcular el caudal en condiciones de trabajo calcularemos previamente el flujo másico y las densidades en condiciones normales y en condiciones de trabajo.

$$\dot{m}_m = \rho_{cn} * \dot{Q}v_{cn} = \rho_{ct} * \dot{Q}v_{ct} \dots \dots \dots (16)$$

$$\rho_{cn} = \frac{P}{R_g * T} \dots \dots \dots (17)$$

Donde la densidad del aire a condiciones normales se evalúa a 101,4 kPa y 0 °C  $R_g$  es igual a la constante universal de gases ideales= 286,9 N-m/kg °C

$$\rho_{ct} = \frac{P_{ct}}{R_g * T_{ct}} \dots \dots \dots (18)$$

Donde la densidad del aire se evalúa a condiciones de distribución.

Luego en función al caudal de aire a condiciones de trabajo se determina el valor del diámetro de la tubería adecuando la ecuación 13.

$$\dot{Q}v_{ct} = v * \frac{\pi * \theta^2}{4} \dots \dots (19)$$

La caída de presión se calcula utilizando la ecuación de Darcy. Esta ecuación depende del diámetro de la tubería y en mayor magnitud de la velocidad con la que circula el fluido. La caída de presión es una pérdida de energía, ya sea por transferencia de calor, al rozar el fluido con las tuberías o ya se por fugas en las tuberías. En ambas formas se pierde energía, lo cual tiene una repercusión negativa en los costos de operación. Hasta hace 10 años se recomendaba una caída de presión máxima por etapa de la red. Actualmente se recomienda que en total la caída de presión del sistema no exceda el 10% de la producción efectiva de la sala de compresores.

La segunda forma de calcular la caída de presión es:

$$\Delta p = \frac{450 * q^{1.85} * l}{d^5 * p} \dots \dots (20)$$

Donde:

q= aire suministrado (l/sg)

l= longitud del tramo de tubería (m)

d= diámetro interno de la tubería (mm)

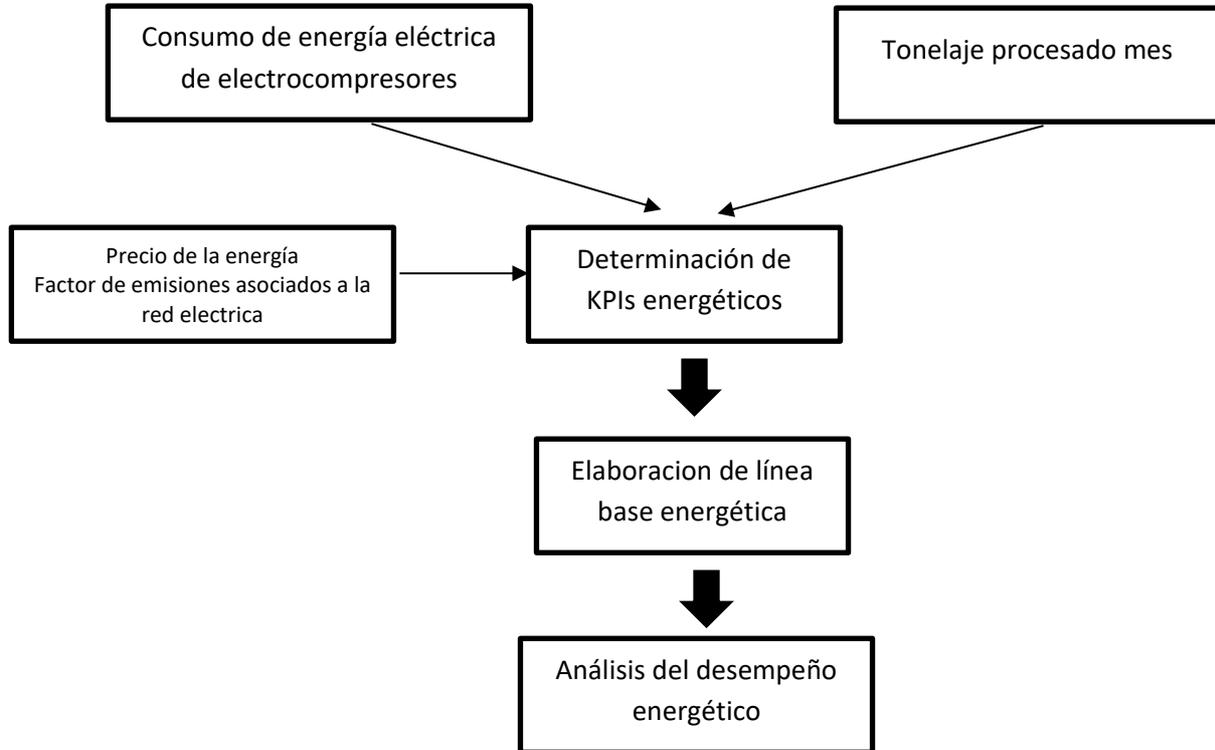
p= presión de entrada a la red (bar)

<https://www.atlascopco.com/es-pe/compressors/air-compressor-blog/sizing-compressed-air-pipe>

- Determinación del desempeño energético en la red de aire comprimido de Astillero Ferroles operando como electrocompresores.

Figura 25

*Secuencia metodológica para determinación del desempeño energético con electrocompresores*



*Nota.* Elaboración propia.

- En el anexo 15 se incluye la información adicional de consumo de energía eléctrica de Astillero Ferroles, para el periodo de evaluación con electrocompresores, los cuales son empleados en la determinación de los nuevos indicadores de desempeño energético económico y el benchmarking energético.
- Estimación de los beneficios técnico, económico y ambiental del cambio de tecnología de compresores.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 4.1 Análisis del desempeño energético con motocompresores.

Aplicando lo detallado en la Norma ISO 50006 para determinar una línea base energética, se procesó las tablas 5 y 6 determinándose los Indicadores de desempeño 1 (técnico) que evalúa los galones de Petroleo BD5 consumidos por toneladas procesadas (asociadas al tonelaje de capacidad de embarcaciones atendidas en el astillero). Se presenta el ejemplo para el mes de agosto 2022.

$$IDE_{s1} = \frac{(306,4 + 1\ 006) \text{ Galon DB5}}{(250 + 400 + 50) \text{ Ton. procesado}} = 1,87 \frac{\text{Galon DB5}}{\text{Ton. procesado}}$$

Tabla 7  
*Resultados del IDEs1 con motocompresores*

Año	Mes	Consumo de combustible (Galón BD5)	Toneladas de procesamiento (Ton)	IDEs1 Galón BD5/Ton procesado
2022	Agosto	1312,4	700	1,87
	Setiembre	905,3	350	2,59
	Octubre	943,6	300	3,15
	Noviembre	1063,8	600	1,77
	Diciembre	1237,7	750	1,65
2023	Enero	903,3	400	2,26
	Febrero	1300,4	550	2,36
	Marzo	962,6	350	2,75
	Abril	980,0	450	2,18

*Nota.* Elaboracion propia.

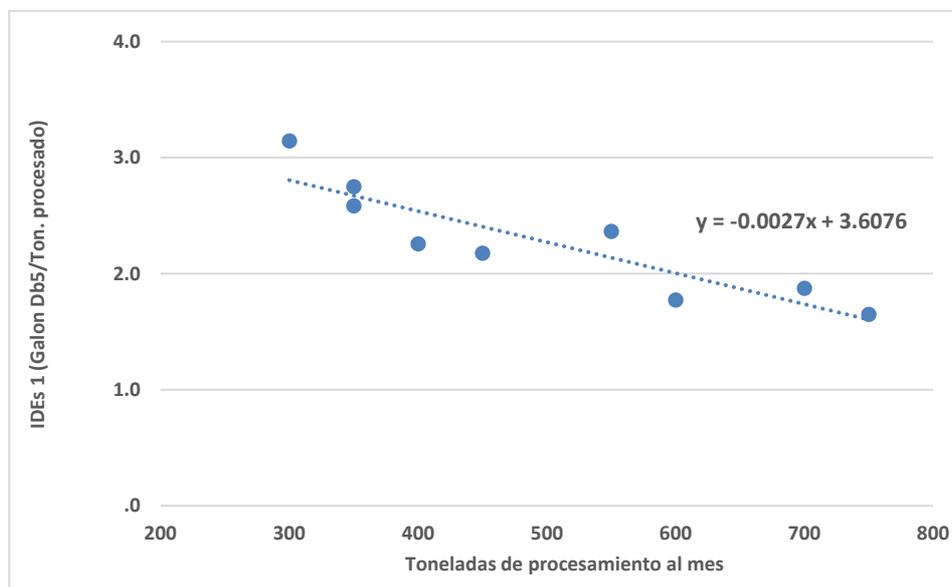
Del mismo modo se presenta la línea base energética del IDEs1 en la cual se observa 5 puntos que están sobre la LBE (figura 26). Como ejemplo se presenta la determinación del exceso de combustible, para el mes de agosto 2022:

$$Combustible_{LBE} = 700 * ((-0.0027 * 700) + 3,6076) = 839,28 \text{ galones}$$

$$Exceso \text{ de combustible consumido} = 943,6 - 839,28 = 104,32 \text{ galones}$$

Figura 26

*Línea base energética de IDEs 1 con motocompresores*



*Nota.* Elaboracion propia.

Evaluando la tabla 7 y la figura 26 se tienen los resultados para el combustible BD5 consumido y el exceso de combustible consumido en referencia a la línea base en operación con motocompresores:

*Combustible anual consumido = 9 609,1 galones de BD5*

*Exceso de combustible consumido = 428,81 galones de BD5*

Se determino los Indicadores de desempeño 2 (económico) que evalúa la facturación de Petróleo BD5 consumidos por toneladas procesadas (asociadas al tonelaje de embarcaciones atendidas en el astillero).

Se toma en cuenta el valor del petróleo BD5 en Chimbote para el mes de setiembre 2024 igual a 13,70 S/. por galón.

<https://www.facilito.gob.pe/facilito/actions/PreciosCombustibleAutomotorAction.do>

Se presenta el ejemplo para el mes de agosto 2022.

$$\begin{aligned}
 IDE_{s,2} &= 1,87 \frac{\text{Galon BD5}}{\text{Ton. procesado}} * \frac{13,7 \frac{\text{Soles}}{\text{Galon BD5}}}{700} \text{Ton. procesado} \\
 &= 25,69 \frac{\text{Soles}}{\text{Ton procesado}}
 \end{aligned}$$

A este último valor se le adiciona el valor de la facturación eléctrica para el periodo de evaluación según lo detallado en el anexo 14.

$$IDE_{s,2} = \frac{17\,979,9 + 4\,314,8}{700} = 31,85 \frac{\text{Soles}}{\text{Ton procesado}}$$

Tabla 8

*Resultados del IDEs2 acumulado con motocompresores*

Año	Mes	Facturación por energía global (S/)	Toneladas de procesamiento (Ton)	S//Ton procesado
2022	Agosto	22 294,68	700	31,85
	Setiembre	17 494,42	350	49,98
	Octubre	18 002,18	300	60,01
	Noviembre	19 693,98	600	32,82
	Diciembre	22 111,88	750	29,48
2023	Enero	17 420,35	400	43,55
	Febrero	22 804,42	550	41,46
	Marzo	18 340,88	350	52,40
	Abril	18 551,77	450	41,23

*Nota.* Elaboracion propia.

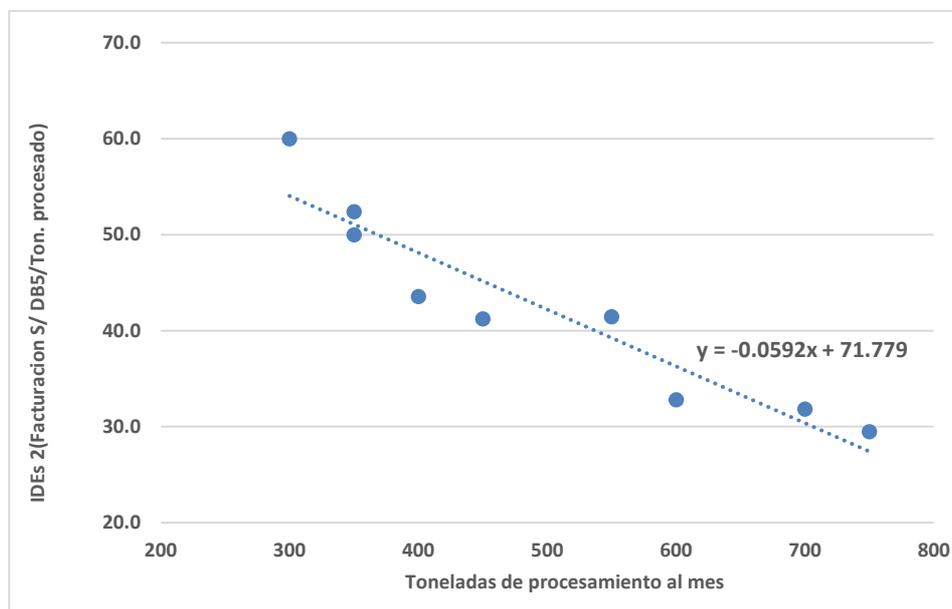
Del mismo modo se presenta la línea base energética del IDEs2 para el indicador energético económico en la cual se observa 5 puntos que están sobre la LBE, para ello se ha determinado el exceso de facturación por energía, por ejemplo, para el mes de agosto 2020:

$$\text{Facturación}_{LBE} = 700 * ((-0.0592 * 700) + 71,779) = 21\,237,30 \text{ soles}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Exceso de facturación por combustible consumido} &= 22\,294,68 - 21\,237,30 \\
 &= 1\,057,38 \text{ Soles}
 \end{aligned}$$

Figura 27

*Línea base energética de IDEs 2 acumulado con motocompresores*



*Nota.* Elaboración propia.

Evaluando la tabla 8 y la figura 27 se tienen los resultados para la facturación de energía acumulada consumida y en operación con motocompresores:

*Facturación de energía acumulada consumida = 176 714,55 Soles*

*Exceso de facturación por energía acumulada consumida = 41 706,00 soles*

Se determino los Indicadores de desempeño 3 (ambiental) que evalúa las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes emitidas por consumo de Petróleo BD5 por toneladas procesadas (asociadas al tonelaje de embarcaciones atendidas en el astillero).

Se toma en cuenta el valor de emisiones de 70,8 Toneladas de CO<sub>2</sub>/ TJ para el petróleo BD5. Obtenido de Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - Volumen 2: Energía, pág. 2.16 - 2.17.

Densidad del petróleo DB5 = 3,28 kg/galón. (Fuente: Osinergmin)

Poder calorífico del petróleo DB5= 9 860 kcal/kg (Fuente: Osinergmin)

Se presenta el ejemplo para el mes de agosto 2022.

$$Emisiones = 1\,312,4 \frac{\text{Galon BD5}}{\text{mes}} * 3,28 \frac{\text{kg}}{\text{Galon}} * 9\,860 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kCal}} * \frac{1\text{ TJ}}{10^9 \text{kJ}}$$

$$* 70,8 \frac{\text{Ton}_{CO_2}}{\text{TJ}} = 12,6 \frac{\text{Ton}_{CO_2}}{\text{mes}}$$

$$IDE_{s3} = \frac{12,6 \frac{\text{Ton}_{CO_2}}{\text{mes}} * \frac{1\,000 \text{ kg}_{CO_2}}{\text{Ton}_{CO_2}}}{700 \frac{\text{Ton. procesado}}{\text{mes}}} = 17,94 \frac{\text{kg}_{CO_2}}{\text{Ton. procesado}}$$

Tabla 9

*Resultados del IDEs3 con motocompresores*

Año	Mes	Ton CO2/mes	Toneladas de procesamiento (Ton)	kg CO2/Ton procesado
2022	Agosto	12,6	700	17,94
	Setiembre	8,7	350	24,76
	Octubre	9,0	300	30,10
	Noviembre	10,2	600	16,97
	Diciembre	11,8	750	15,79
2023	Enero	8,6	400	21,61
	Febrero	12,4	550	22,63
	Marzo	9,2	350	26,32
	Abril	9,4	450	20,84

*Nota.* Elaboracion propia.

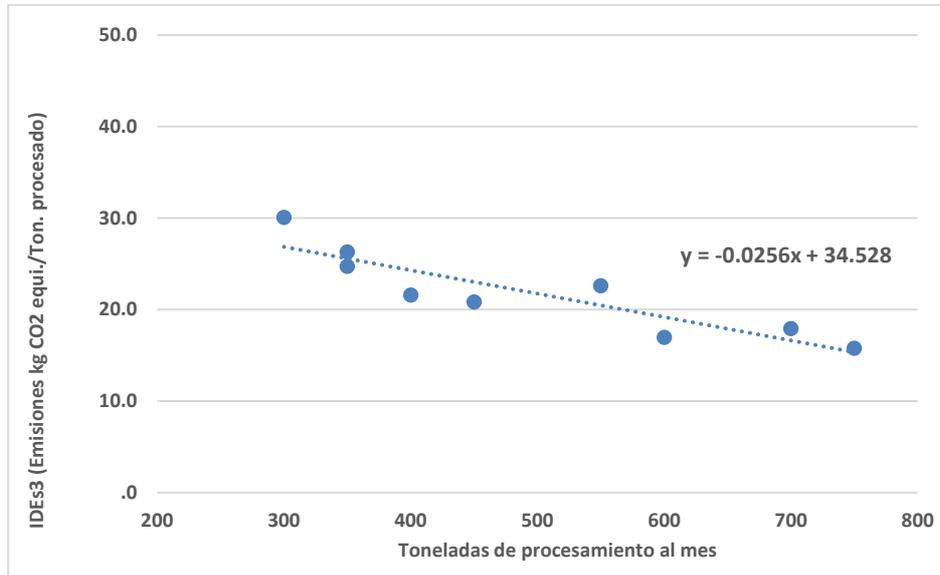
Del mismo modo se presenta la línea base energética del IDEs3 para el indicador energético ambiental en la cual se observa 5 puntos que están sobre la LBE, para ello se ha determinado las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo de combustible, por ejemplo, para el mes de agosto 220:

$$Emisiones_{LBE} = 700 * ((-0,0256 * 700) + 34,528) = 11,92 \frac{\text{Ton}_{CO_2}}{\text{mes}}$$

$$Exceso\ de\ emisiones\ emitidas = 12,6 - 11,92 = 0,64 \frac{\text{Ton}_{CO_2}}{\text{mes}}$$

Figura 28

*Línea base energética de IDEs 3 con motocompresores*



*Nota.* Elaboracion propia.

Evaluando la tabla 9 y la figura 27 se tienen los resultados para las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo de combustible BD5 y en operación con motocompresores:

*Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente = 92 Ton. CO<sub>2</sub> equi.*

*Exceso de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente = 2,79 Ton. CO<sub>2</sub> equi.*

#### 4.2 Dimensionamiento del sistema de aire comprimido con electrocompresores.

Se selecciona para el proceso de pintado un caudal de 300 litros/min = 0,3 m<sup>3</sup>/min, recomendado por:

<https://www.electromecanico.co/compresores-de-pintura-todo-lo-que-debes-saber/>

Para el proceso de arenado se cuenta con:

Boquillas de 3/16" las cuales presentan caudales de 45 cfm = 1,27 m<sup>3</sup>/min.

Boquillas de 1/4" las cual presenta un caudal de 81 cfm= 2,3 m<sup>3</sup>/min

Se toma el valor de caudal mas alto para la demanda de arenado. Fuente:

<https://www.bigrentz.com/how-to-guides/size-air-compressor-sandblasting>

Tabla 10

*Requerimiento de aire comprimido por uso*

Puntos de carga	Uso	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Presión (Bar)	Factor de simultaneidad
1	Arenado 1	2,3	6	1
2	Arenado 2	2,3	6	1
3	Pintura 1	0,3	2	1
4	Pintura 2	0,3	2	1
5	Arenado 3	2,3	6	1
6	Arenado 4	2,3	6	1
7	Pintura 3	0,3	2	1
8	Pintura 4	0,3	2	1
Total		10,4	6	1

*Nota.* Elaboracion propia.

Se aplica con un factor de seguridad recomendado por Empresa Atlas Copco de 20%.

El Caudal de diseño es de  $10,4 \cdot 1,2 = 12,48 \text{ m}^3/\text{min}$ . El caudal se emplea para el dimensionamiento de la sala de compresores.

Se presenta las distancias entre el punto de suministro y puntos de acometida.

Tabla 11

*Requerimiento de aire comprimido por uso*

Tramo	Detalle	Distancia (m)	Detalle	Acumulado (m)	
1	2	Principal	6	Desde sala de compresor a derivación	6
2	3	Secundario 1	15	De derivación a Pintura 1	21
3	4	Secundario 1	15	De Pintura 1 a Arenado 1	36
4	5	Secundario 1	15	De Arenado 1 a Pintura 2	51
5	6	Secundario 1	15	De Pintura 2 a Arenado 2	66
2	7	Secundario 2	20	De derivación a Ingreso Red 2	26
7	8	Secundario 2	15	De ingreso Red 2 a Pintura 3	41
8	9	Secundario 2	15	De Pintura 3 a Arenado 3	56
9	10	Secundario 2	15	De Arenado 3 a Pintura 4	71
10	11	Secundario 2	15	De Pintura 4 a Arenado 4	86

*Nota.* Elaboracion propia.

Cálculo de diámetro de tubería, se toma en cuenta que la velocidad debe estar entre 6 a 10 m/s según lo recomendado por la Universidad de Sevilla para el dimensionamiento de redes de aire comprimido. Fuente:

<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5025/fichero/3.-+Dimensionamiento+de+un+sistema+de+aire+comprimido.pdf>

Ejemplo: Tramo 1-2

$$\dot{Q}v_{cn} = 12,24 \text{ m}^3/\text{min} = 0,204 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$v = 8 \text{ m/s}$$

Aplicando las ecuaciones 17,18 y 19:

$$\rho_{cn} = \frac{P}{R_g * T} = \frac{101,4 * 10^3}{286,9 * 273} = 1,294 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Condiciones de trabajo a la salida de sala de compresión 7 bar = 709,8 kPa y 25°C.

El valor de 7 bar asumido es teniendo en cuenta que la presión de suministro al último punto de uso debe ser 6 bar.

$$\rho_{ct} = \frac{P}{R_g * T} = \frac{709,8 * 10^3}{286,9 * 298} = 8,302 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$1,294 * 0,192 = 8,302 * \dot{Q}v_{ct}$$

$$\dot{Q}v_{ct} = \frac{0,204 * 1,294}{8,302} = 0,032 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Luego en función al caudal de aire a condiciones de trabajo se determina el valor del diámetro de la tubería con la ecuación 19.

$$0,032 = 8 * \frac{\pi * \emptyset^2}{4}$$

$$\emptyset = 0,071 \text{ m} = 71 \text{ mm}$$

Seguidamente se verifica la existencia de tuberías comerciales para redes de aire comprimido con valores de diámetros comerciales cercanos al valor obtenido de 71 mm.

Tomando en cuenta los catálogos de la empresa EICEPAK de Lima.

<https://eicepak.com/sicomat/>

Se tiene el diámetro comercial correspondiente a tubería ecológica 059.063.059-6 celeste cuyas características son:

Diámetro exterior= 63 mm.

Espesor= 2 mm.

Longitud= 6 m

Peso lineal= 0,99 kg/m

Diámetro interior = 59 mm.

Material: fabricado en aluminio extrusionado tratado superficialmente que previene la corrosión y oxidación.

Verificación del valor de la velocidad:

$$0,032 = v * \frac{\pi * 0,059^2}{4} = 11,70 \frac{m}{s} \text{ superior a } 10 \frac{m}{s}$$

Se tiene el diámetro comercial corresponde tubería ecológica TA 06-L1 04 color azul equivalente a 072.076.0723-6 azul cuyas características son:

Diámetro exterior= 76,3 mm.

Espesor= 2 mm.

Longitud= 6 m

Diámetro interior = 72,3 mm.

Verificación del valor de la velocidad:

$$0,032 = v * \frac{\pi * 0,0723^2}{4} = 7,80 \frac{m}{s} \text{ en el rango de } 6 \text{ a } 10 \frac{m}{s}$$

Se selecciona tubería ecológica TA 06-L1 04 color azul para el tramo 1-2 de 6 metros de longitud desde salida de sala de compresores a derivación.

Se presenta los resultados del cálculo del diámetro comercial de los 10 tramos de tuberías, donde la primera es el tramo principal, y de los dos tramos secundarios, para ello se tomó en cuenta el procedimiento del ejemplo anterior.

Tabla 12

*Selección del diámetro de tubería comercial y verificación de la velocidad del aire comprimido*

Tramo		Distancia (m)	P (bar)	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Caudal *1,2 (m <sup>3</sup> /min)	Ø (m) calculado	Ø (m) comercial	v real (m/s)	Código de selección
1	2	6	7	10,4	12,48	0,071	0,0723	7,80	TA 06-L1 04
2	3	15	7	5,2	6,24	0,0508	0,046	5,93	059.063.059-6
3	4	15	7	4,9	5,88	0,0493	0,046	5,59	059.063.059-6
4	5	15	7	2,6	3,12	0,0359	0,037	7,54	059.040.037-6
5	6	15	7	2,3	2,76	0,0338	0,037	6,67	059.040.037-6
2	7	20	7	5,2	6,24	0,0508	0,046	5,93	059.063.059-6
7	8	15	7	5,2	6,24	0,0508	0,046	5,93	059.063.059-6
8	9	15	7	4,9	5,88	0,0493	0,046	5,59	059.063.059-6
9	10	15	7	2,6	3,12	0,0359	0,037	7,54	059.040.037-6
10	11	15	7	2,6	3,12	0,0359	0,037	7,54	059.040.037-6

*Nota.* Elaboracion propia.

Seguidamente se determinan los diámetros y velocidades requeridas para los 8 puntos de consumo, tanto para usos en pintado y arenado.

Para uso de pintado.

Caudal requerido= 0,3 m<sup>3</sup>/min

$\dot{Q}v_{cn} = 0,3 * 1,2 = 0,36 \text{ m}^3/\text{min} = 0,006 \text{ m}^3/\text{s}$ .

v= 8 m/s

Aplicando las ecuaciones 17, 18 y 19:

$$\rho_{cn} = 1,294 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{ct} = 8,302 \frac{kg}{m^3}$$

$$1,294 * 0,002 = 8,302 * \dot{Q}v_{ct}$$

$$\dot{Q}v_{ct} = \frac{0,006 * 1,294}{8,302} = 0,0009 \frac{m^3}{s}$$

Luego en función al caudal de aire a condiciones de trabajo se determina el valor del diámetro de la tubería con la ecuación 19.

$$0,0009 = 8 * \frac{\pi * \emptyset^2}{4}$$

$$\emptyset = 0,012 \text{ m} = 12 \text{ mm}$$

Se tiene el diámetro comercial correspondiente a tubería ecológica 059.015.012-4 celeste cuyas características son:

Diámetro exterior= 15 mm.

Espesor= 1,5 mm.

Longitud= 4 m

Peso lineal= 0,18 kg/m

Diámetro interior = 12 mm.

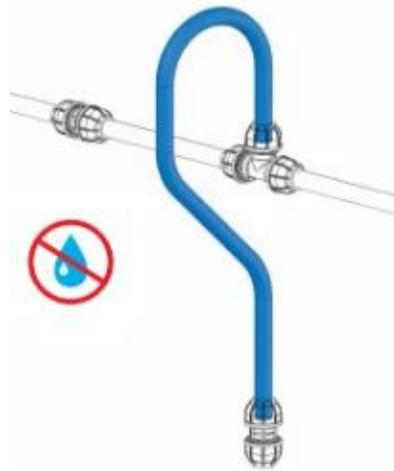
Verificación del valor de la velocidad:

$$0,0009 = v * \frac{\pi * 0,012^2}{4} = 7,95 \frac{m}{s} \text{ dentro del rango de } 6 - 10 \frac{m}{s}$$

Se selecciona tubería ecológica 059.015.012-4 celeste para los suministros en los 4 puntos de uso para arenado. La tubería es de aluminio extrusionado tratado superficialmente para la corrosión.

Figura 29

*Detalles de red de alimentación a punto de consumo*



*Nota.* Elaboracion propia.

Cada red de alimentación para uso de pintado incluye:

01 racor en T reductor de 63 mm a 15 mm R217.050.015

01cuello de ganso de 15 mm.

01 racor recto unión simple de 15 mm

1 500 mm de Tubería de 059.015.012-4 celeste

01 válvula de purga de 15 mm R213.015.015

1 000 mm de Tubería de 059.015.012-4 celeste

01 unidad de mantenimiento MSB6-1/2:C3J1M1-WP Marca Festo. Con conexión neumática G1/2, grado de filtración 40 µm, Margen de regulación de presión :1 bar – 12 bar y Caudal nominal normal (normalizado según DIN 1343) hasta 3100 l/min (3 m<sup>3</sup>/min)

01 válvula de cierre rápido de 15 mm.

Figura 30

Unidad de Mantenimiento MSB6-1/2:C3JIM1-WP



Nota. Imagen obtenida de Empresa FESTO.

Para uso en arenado.

Caudal requerido= 2,3 m<sup>3</sup>/min

$$\dot{Q}v_{cn} = 2,3 * 1,2 = 2,76 \text{ m}^3/\text{min} = 0,046 \text{ m}^3/\text{s}.$$

v= 8 m/s

Aplicando las ecuaciones 17, 18 y 19:

$$\rho_{cn} = 1,294 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{ct} = 8,302 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$1,294 * 0,046 = 8,302 * \dot{Q}v_{ct}$$

$$\dot{Q}v_{ct} = \frac{0,046 * 1,294}{8,302} = 0,007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Luego en función al caudal de aire a condiciones de trabajo se determina el valor del diámetro de la tubería con la ecuación 19.

$$0,007 = 8 * \frac{\pi * \varnothing^2}{4}$$

$$\varnothing = 0,034 \text{ m} = 34 \text{ mm}$$

Se tiene el diámetro comercial correspondiente a tubería ecológica 059.040.037-6 celeste cuyas características son:

Diámetro exterior= 40 mm.

Espesor= 1,5 mm.

Longitud= 6 m

Peso lineal= 0,46 kg/m

Diámetro interior = 37 mm.

Verificación del valor de la velocidad:

$$0,007 = v * \frac{\pi * 0,037^2}{4} = 6,51 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ dentro del rango de } 6 - 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se selecciona tubería ecológica 059.040.037-6 celeste para los suministros en los 4 puntos de uso para arenado.

Cada red de alimentación para uso de pintado incluye:

01 racor en T reductor de 63 mm a 40 mm R217.050.040

01cuello de ganso de 40 mm.

01 racor recto unión simple de 40 mm

1 500 mm de Tubería de 059.040.037-6 celeste

01 válvula de purga de 15 mm R213.015.015

1 000 mm de Tubería de 059.040.037-6 celeste

01 unidad de mantenimiento MSB6-1/2:C3J1M1-WP Marca Festo. Con conexión neumática G1/2, grado de filtración 40  $\mu\text{m}$ , Margen de regulación de presión :1 bar - 12 bar y Caudal nominal normal (normalizado según DIN 1343) hasta 3100 l/min (3 m<sup>3</sup>/min)

01 válvula de cierre rápido de 40 mm.

Seguidamente se presenta los cálculos por caída de presión en diversos tramos del sistema de distribución de aire comprimido.

Para el tramo 1-2.

Datos:

Longitud: 6 m.

Diámetro: 0,0723 m=72,3 mm

Velocidad: 7,8 m/s

Caudal: 12,48 m<sup>3</sup>/min = 208 l/s

Se aplica la ecuación 20.

$$\Delta p = \frac{450 * 208^{1.85} * 6}{72,3^5 * 7} = 0,003793 \text{ bar}$$

La presión al final del primer tramo es:

$$p_2 = 7 - 0,003793 = 6,966 \text{ bar}$$

El porcentaje de caída presión en el primer tramo es igual a:

$$\% \text{Caída de presión} = \frac{0,003793}{7} * 100\% = 0,05\%$$

En la tabla siguiente se presentan los valores de caída de presión de los dos circuitos de distribución de aire comprimido, alcanzándose desde el punto de salida de la sala de compresores al punto más lejano de la red (punto 11) una caída de presión igual a 0,020932 bar, con un valor de presión de 6,931 bar, con lo cual la máxima caída de presión es de 6,91%, el cual es inferior al 10% tomado como parámetro de diseño para una red de aire comprimido.

Tabla 13

*Caída de presión en los tramos de la red de distribución de aire comprimido*

Tramo	Distancia (m)	P (bar)	Caudal(l/s)	Ø (mm) comercial	v real (m/s)	Caída de presión (bar)	Presión al final del tramo (bar)	% caída de presión	
1	2	6	7	208	72,3	7,80	0,003793	6,996	0,05%
2	3	15	7	104	59	5,93	0,007273	6,989	1,11%
3	4	15	7	98	59	5,59	0,006522	6,982	1,76%
4	5	15	7	52	37	7,54	0,020840	6,962	3,84%
5	6	15	7	46	37	6,67	0,016661	6,945	5,51%
2	7	20	7	104	59	5,93	0,009697	6,987	1,35%
7	8	15	7	104	59	5,93	0,007283	6,979	2,08%
8	9	15	7	98	59	5,59	0,006531	6,973	2,73%
9	10	15	7	52	37	7,54	0,020869	6,952	4,82%
10	11	15	7	52	37	7,54	0,020932	6,931	6,91%

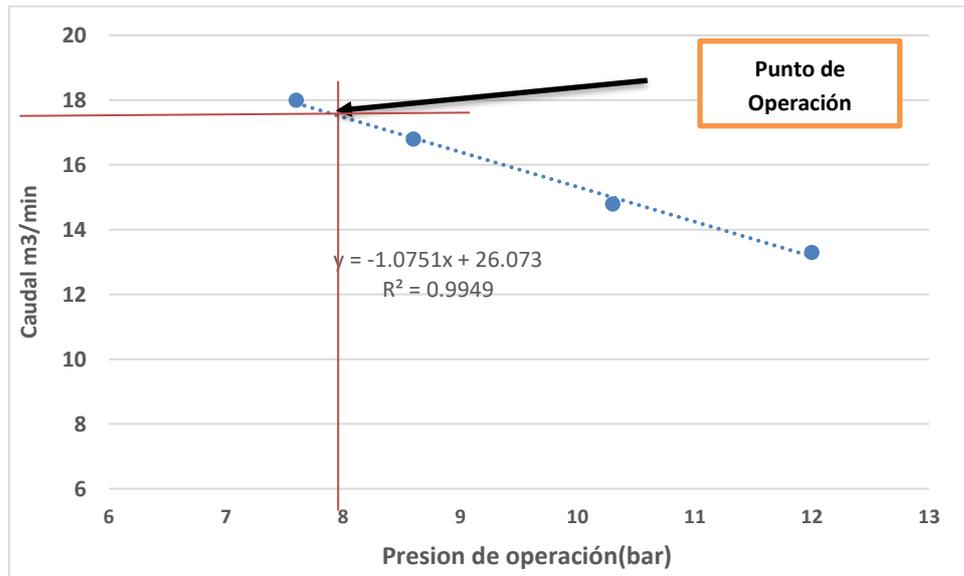
*Nota.* Elaboracion propia

Seguidamente se dimensiona las características del electrocompresor teniendo en cuenta las condiciones operativas y comerciales.

Para el electrocompresor LS90S

Figura 31

Características de operación de compresor comercial LS90S



Nota. Elaboracion propia.

En condiciones de 8 bar de operación se tiene un caudal generado de:

$$Q = (-1.0751 * 8) + 26,073 = 17,47 \frac{m^3}{m}$$

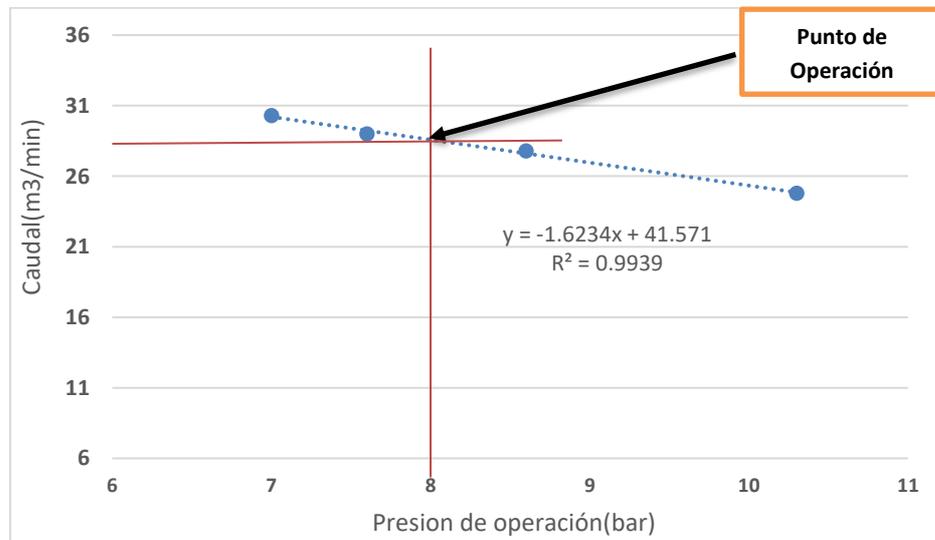
Se determino la relación de energía generada para una potencia de 90 kW.

$$Relacion \frac{caudal}{energia} = \frac{17,47 \frac{m^3}{min}}{90 \text{ kwh}} = 0,194 \frac{m^3}{kWh}$$

Mientras que para un electrocompresor LS160S, se tiene a 8 bar de condiciones de operación las siguientes características:

Figura 32

Características de operación de compresor comercial LS160S



Nota. Elaboración propia.

En condiciones de 8 bar de operación se tiene un caudal generado de:

$$Q = (-1,6234 * 8) + 41,571 = 28,58 \frac{m^3}{m}$$

Se determino la relación de energía generada para una potencia de 90 kW.

$$Relacion \frac{caudal}{energia} = \frac{28,58 \frac{m^3}{min}}{160 \text{ kWh}} = 0,178 \frac{m^3}{kWh}$$

Entre ambas alternativas se cuenta con un mayor caudal generado por el electrocompresor LS160S de:

$$Mayor \ caudal \ generado = 28,58 - 17,47 = 11,11 \ m^3/min$$

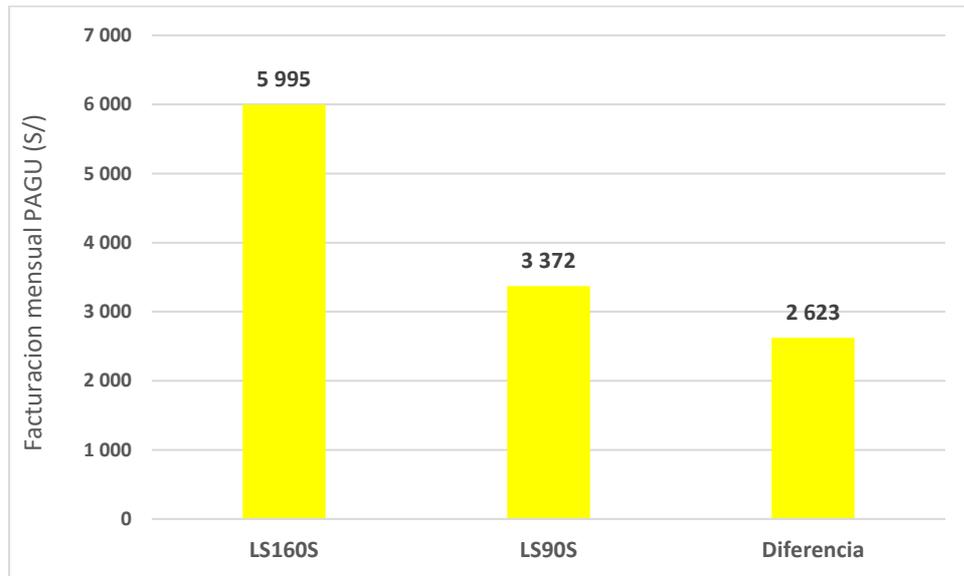
En cuanto a la relación caudal/energía el electrocompresor LS90S presenta un mejor performance por unidad de energía consumida:

$$Diferencia \ de \ relacion \ \frac{caudal}{energia} = 0,194 - 0,178 = 0,018 \ \frac{m^3}{kWh}$$

Del mismo modo en un análisis por el costo de la potencia para una tarifa MT3 con el pliego tarifario de setiembre 2024 en la concesión de Chimbote, para la potencia activa de generación para usuarios presente fuera de punta se tiene un costo de 37,42 S//kW

Figura 33

*Efecto de la potencia del motor del compresor en la facturación mensual*



*Nota.* Elaboracion propia.

Del mismo se selecciona las dimensiones del tanque de aire comprimido teniendo en cuenta las consideraciones técnicas de la Empresa Atlas Copco de 15 litros por cada 2 m<sup>3</sup>/h de aire comprimido.

<https://www.atlascopco.com/es-ar/compressors/air-compressor-blog/que-son-los-tanques-de-aire-comprimido-2>

$$Volumen = \frac{15 \text{ litros}}{2 \frac{m^3}{h}} * Caudal$$

$$Q_{real} = 12,48 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Volumen = \frac{15 \text{ litros}}{2 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{60 \text{ min}}} * 12,48 \frac{m^3}{\text{min}} = 5 616 \text{ litros}$$

Teniendo en cuenta información comercial de tanques de almacenamiento de aire comprimido normalizados de 5 000 a 8 000 litros de capacidad. Por lo cual se selecciona un tanque pulmón de 5 000 litros fabricados con las normas AD 2000 y DIN EN ISO 1461, con las siguientes especificaciones:

Marca: Kaeser Compresores.

Tipo: Vertical.

Presión máxima de servicio: 230 psi = 15,6 bar

Dimensiones: Diámetro 1 400 mm, Altura 3 570 mm.

Conexión de entrada/salida: 4xDN100

#### 4.3 Análisis del desempeño energético con electrocompresores.

Se presenta los resultados del desempeño energético para la operación del electrocompresor para el periodo 2023-2024.

Tabla 14

*Estadísticas de procesamiento de embarcaciones 2023-2024*

Año	Mes	Barco (Ton)			Chata (Ton)	Barco (N°)	Chata (N°)
		250	300	400	50		
2023	Junio		1	1		2	
	Julio		2		1	2	1
	Agosto	1				1	
	Octubre	1		1	1	2	1
	Noviembre		1	1		2	
	Diciembre		1	1	1	2	1
2024	Febrero			2		2	
	Marzo		2			2	
	Abril		2			2	
	Junio		2			2	
	Agosto		1	1	1	2	1

*Nota.* Elaboracion propia.

Detallándose que hubo en el periodo de evaluación un mayor número de embarcaciones que fueron trabajadas en los astilleros, con un total de 11 meses de evaluación del desempeño energético.

Del mismo modo en los anexos se presentan los consumos de energía eléctrica y potencia en la opción tarifaria MT3, así como la facturación correspondiente.

Se procesó la información referente al consumo de energía activa (ver anexo) y de la tabla 18 determinándose los Indicadores de desempeño 1 (técnico) que evalúa la energía activa consumida por toneladas procesadas (asociadas al tonelaje de embarcaciones atendidas en el astillero). Se presenta el ejemplo para el mes de junio 2023.

$$IDE_s1 = \frac{13\,620 + 869}{300 + 400} = 20,74 \frac{\text{kWh}}{\text{Ton. procesado}}$$

Tabla 15

*Resultados del IDEs1 con electrocompresores*

Año	Mes	Consumo de energía activa (kWh)	Toneladas de procesamiento (Ton)	kWh/Ton procesado
2023	Junio	14 516	700	20,74
	Julio	14 620	650	22,49
	Agosto	6 640	250	26,56
	Octubre	15 385	672	22,89
	Noviembre	14 414	700	20,59
	Diciembre	14 510	750	19,35
2024	Febrero	15 696	800	19,62
	Marzo	12 950	600	21,58
	Abril	12 219	600	20,37
	Junio	13 441	600	22,40
	Agosto	15 600	750	20,80

*Nota.* Elaboración propia.

Del mismo modo se presenta la línea base energética del IDEs1 con operación de electrocompresores en la cual se observa 5 puntos que están sobre la LBE, para ello se ha determinado el exceso de combustible, por ejemplo, para el mes de julio 2023:

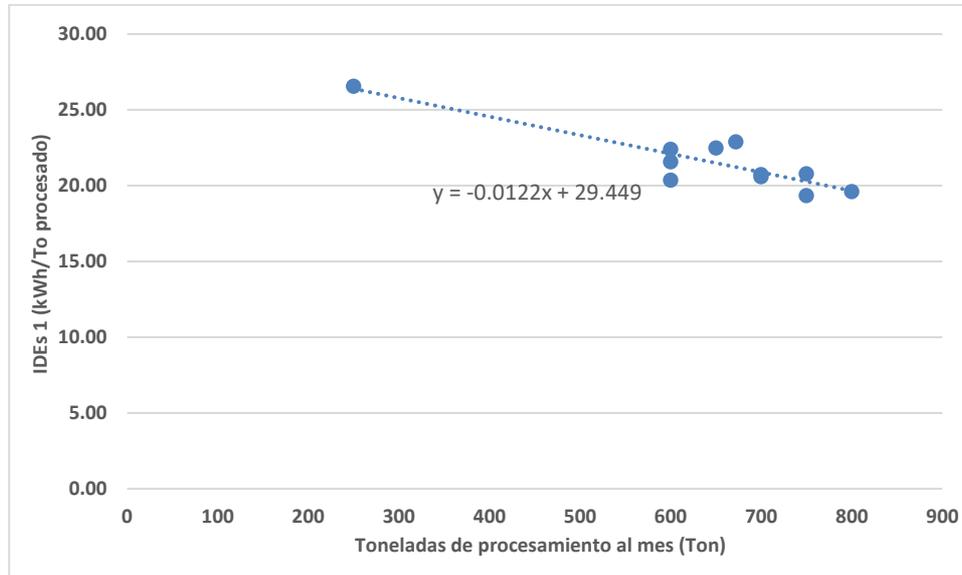
$$Energía Activa_{LBE} = 650 * ((-0.0122 * 650) + 29,449) = 13\,987,3 \text{ kWh}$$

$$Exceso \text{ de energía activa consumida} = 14\,620 - 13\,987,3$$

$$Exceso \text{ de energía activa consumida} = 632,7 \text{ kWh}$$

Figura 34

*Línea base energética de IDEs 1 con electrocompresores*



*Nota.* Elaboracion propia.

Evaluando la tabla 19 y la figura 33 se tienen los resultados para el consumo de energía activa en operación con electrocompresores:

$$\text{Energía activa consumida} = 149\,991,0 \text{ kWh}$$

$$\text{Exceso de energía consumida} = 2\,316,8 \text{ kWh}$$

Se determino los Indicadores de desempeño 2 acumulado (económico) que evalúa la facturación de la energía con la tarifa MT3 por toneladas procesadas (asociadas al tonelaje de embarcaciones atendidas en el astillero).

Se presenta el ejemplo para el mes de agosto 2023.

$$\text{IDE}_{s2} = \frac{10\,544,36 \frac{\text{S/}}{\text{mes}}}{250 \frac{\text{Ton procesado}}{\text{mes}}} = 42,18 \frac{\text{S/}}{\text{Ton procesado}}$$

Tabla 16

*Resultados del IDEs2 acumulado con electrocompresores*

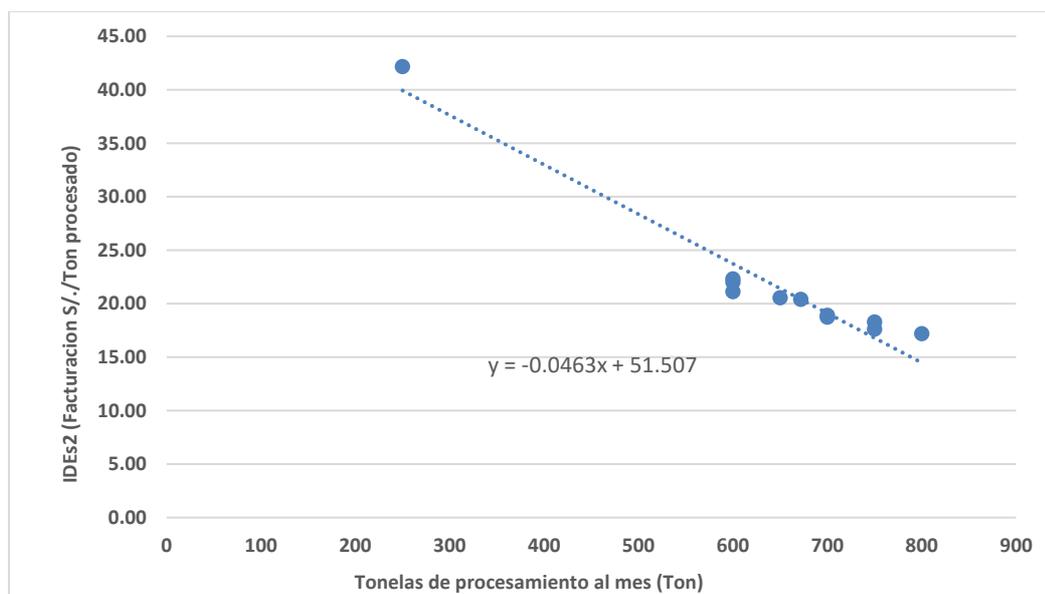
Año	Mes	Facturación de energía eléctrica (S/)	Toneladas de procesamiento (Ton)	S//Ton procesado
2023	Junio	13 242,74	700	18,92
	Julio	13 365,25	650	20,56
	Agosto	10 544,36	250	42,18
	Octubre	13 712,29	672	20,41
	Noviembre	13 107,66	700	18,73
	Diciembre	13 206,80	750	17,61
2024	Febrero	13 753,01	800	17,19
	Marzo	12 667,56	600	21,11
	Abril	13 204,60	600	22,01
	Junio	13 384,79	600	22,31
	Agosto	13 711,20	750	18,28

*Nota.* Elaboracion propia.

Del mismo modo se presenta la línea base energética del IDEs2 acumulado para el indicador energético económico en la cual se observa 5 puntos que están sobre la LBE, para ello se ha determinado el exceso de facturación de consumo de energía eléctrica, por ejemplo, para el mes de febrero 2024:

Figura 35

*Línea base energética de IDEs 2 acumulado con electrocompresores*



*Nota.* Elaboracion propia.

$$Facturacion_{LBE} = 800 * ((-0.0463 * 800) + 51,507) = 11\ 573,60 \text{ soles}$$

$$\begin{aligned} Exceso \text{ de facturación por energía eléctrica consumida} &= 13\ 753,01 - 11\ 573,60 \\ &= 2\ 179,41 \text{ Soles} \end{aligned}$$

Evaluando la tabla 14 y la figura 35 se tienen los resultados para la facturación de energía eléctrica en operación con electrocompresores:

$$Facturacion \text{ de energía eléctrica consumida} = 143\ 900,27 \text{ Soles}$$

$$\begin{aligned} Exceso \text{ de facturación por combustible consumido} &= 143\ 900,27 - 143\ 796,16 \\ &= 104,11 \text{ soles} \end{aligned}$$

Se determino los Indicadores de desempeño 3 (ambiental) que evalúa las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes emitidas por consumo de energía eléctrica por toneladas procesadas (asociadas al tonelaje de embarcaciones atendidas en el astillero).

Se toma en cuenta el valor de emisiones de 0,2136 Toneladas de CO<sub>2</sub>/ MWh, es el factor de emisión de consumo de electricidad correspondiente al año 2023, cuyo valor se emplea para el cálculo de la huella de carbono Perú.

Es importante señalar que este factor considera el porcentaje de pérdidas por Transmisión y Distribución correspondiente y ya se encuentra disponible en la plataforma, siendo posible reportar el periodo 2023. Para aquellas organizaciones que han cargado el FNA (Formato de nivel de actividad) sobre consumo eléctrico en la determinación de la huella de carbono Perú. (Fuente email emitido el 05.02.2024 por parte de Huella de Carbono Perú del Minam al Mg Robert Guevara Chinchayan-Asesor de Tesis).

Se presenta el ejemplo para el mes de julio 2023.

$$\begin{aligned} Emisiones &= 14\ 620 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{\text{MWh}}{1\ 000 \text{ kWh}} * 0,2136 \frac{\text{Ton}_{CO_2}}{\text{MWh}} = 3,10 \frac{\text{Ton}_{CO_2}}{\text{mes}} \\ IDE_s3 &= \frac{3,10 \frac{\text{Ton}_{CO_2}}{\text{mes}} * \frac{1\ 000 \text{ kg}_{CO_2}}{\text{Ton}_{CO_2}}}{650 \frac{\text{Ton. procesado}}{\text{mes}}} = 4,80 \frac{\text{kg}_{CO_2}}{\text{Ton. procesado}} \end{aligned}$$

Tabla 17

*Resultados del IDEs3 con electrocompresores*

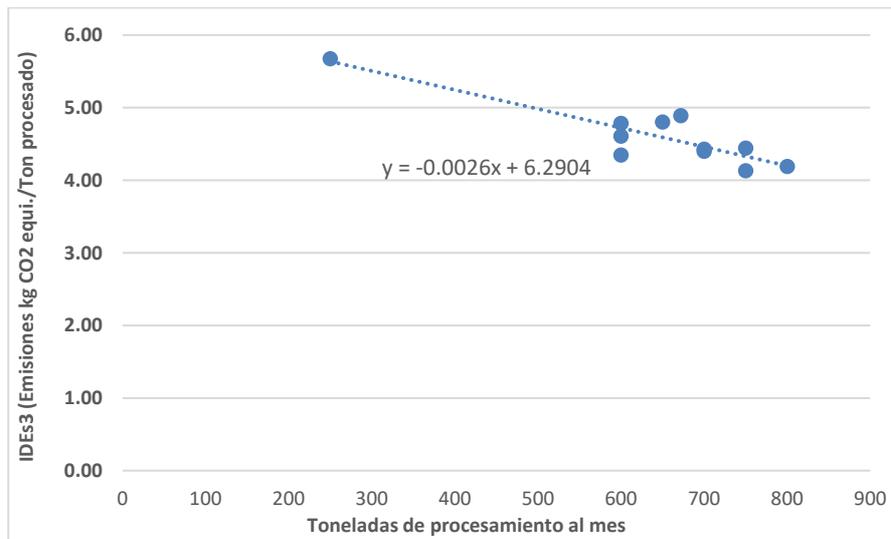
Año	Mes	Consumo de energía activa (kWh)	Ton CO <sub>2</sub> /mes	Toneladas de procesamiento (Ton)	IDEs 3 kg CO <sub>2</sub> /Ton procesado
2023	Junio	14 516	3,10	700	4,43
	Julio	14 620	3,12	650	4,80
	Agosto	6 640	1,42	250	5,67
	Octubre	15 385	3,29	672	4,89
	Noviembre	14 414	3,08	700	4,40
	Diciembre	14 510	3,10	750	4,13
2024	Febrero	15 696	3,35	800	4,19
	Marzo	12 950	2,77	600	4,61
	Abril	12 219	2,61	600	4,35
	Junio	13 441	2,87	600	4,78
	Agosto	15 600	3,33	750	4,44

*Nota.* Elaboracion propia.

Del mismo modo se presenta la línea base energética del IDEs3 para el indicador energético ambiental en la cual se observa 5 puntos que están sobre la LBE, para ello se ha determinado las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo de combustible, por ejemplo, para el mes de julio 2023.

Figura 36

*Línea base energética de IDEs 3 con electrocompresores*



*Nota.* Elaboracion propia.

$$Emisiones_{LBE} = 650 * ((-0.0026 * 650) + 6,2904) = 2,99 \frac{Ton_{CO_2}}{mes}$$

$$Exceso de emisiones emitidas = 3,12 - 2,99 = 0,13 \frac{Ton_{CO_2}}{mes}$$

Evaluando la tabla 17 y la figura 36 se tienen los resultados para las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por consumo de energía eléctrica y en operación con electrocompresores.

$$Emisiones de CO_2 equivalente = 32,04 Ton. CO_2 equi.$$

$$Exceso de emisiones de CO_2 equivalente = 0,48 Ton. CO_2 equi.$$

#### 4.4 Estimación de los beneficios energéticos, económico y ambiental por el cambio de tecnología de compresores.

Se presentan los resultados de los beneficios energéticos, económicos y ambientales al reemplazar motocompresor por un electrocompresor LS90S.

Para la determinación de los beneficios energéticos por cambio de tecnología de compresión de aire se asumieron las siguientes premisas:

- La energía eléctrica consumida en el electrocompresor proviene de la generación de energía por un grupo electrógeno que opera con petróleo BD5.
- Se asume un valor de eficiencia del generador eléctrico de 90% y del motor de combustión interna sobrealimentado de 45%, valores similares a los desarrollados por los grupos electrógenos que operan en el SEIN.
- Las propiedades del petróleo BD5 son:  
Poder calorífico inferior = 9 860 kCal/kg= 41 214,8 kJ/kg(Fuente : Osinergmin)  
Densidad BD5= 3,28 kg/galón.

Se presenta el ejemplo para junio 2023, con un consumo de energía activa de 14 516 kWh/mes.

$$Energia equivalente termica = \frac{14\ 516 \frac{kWh}{mes}}{0,9 * 0,45} = 35\ 842 \frac{kWh}{mes}$$

Seguidamente se determinó el combustible equivalente para generar los 35 842 kWh/mes.

$$\text{Combustible equivalente} = 35\,842 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * 3\,600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} * \frac{\text{kg}}{41\,214,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} * \frac{\text{galon}}{3,28 \text{ kg}}$$

$$\text{Combustible equivalente} = 954,5 \frac{\text{galones BD5}}{\text{mes}}$$

Para un procesamiento de 700 toneladas/mes y aplicando la ecuación de LBE para IDEs1 empleando petróleo BD5, se tiene el siguiente consumo de combustible BD5.

$$\begin{aligned} \text{Consumo de combustible} &= 700 * ((-0,0027 * 700) + 3,6076) \\ &= 1\,202,3 \frac{\text{galones BD5}}{\text{mes}} \end{aligned}$$

La reducción de combustible equivalente es:

$$\text{Reduccion} \frac{\text{Gal. equi}}{\text{mes}} = 1\,202,3 - 954,5 = 247,8 \frac{\text{Gal. equi}}{\text{mes}}$$

Tabla 18

*Beneficios energéticos por el cambio de tecnología de compresores*

Año	Mes	Toneladas de procesamiento (Ton)	Consumo de combustible equivalente operando con electrocompresores (Galón BD5/mes)	Consumo de combustible operando con motocompresores (Galón BD5)	Reducción total Gal. Equi./mes
2023	Junio	700	954,5	1 202,3	247,8
	Julio	650	961,3	1 204,2	242,9
	Agosto	250	436,6	733,2	296,5
	Octubre	672	1 011,6	1 205,0	193,4
	Noviembre	700	947,8	1 202,3	254,5
	Diciembre	750	954,1	1 187,0	232,9
2024	Febrero	800	1 032,1	1 158,1	126,0
	Marzo	600	851,5	1 192,6	341,0
	Abril	600	803,4	1 192,6	389,1
	Junio	600	883,8	1 192,6	308,8
	Agosto	750	1 025,8	1 187,0	161,2
Total periodo de evaluación (galones equivalentes)					2 794,2

*Nota.* Elaboracion propia.

Para el caso de la reducción de la facturación mensual por cambio tecnológico, se tiene en cuenta el ejemplo del mes junio 2023:

La facturación de energía eléctrica para junio 2023 es de S/ 13 242,74.

Seguidamente se determina la facturación de la energía total, para ello se emplea la ecuación de LBE para el IDEs2 acumulado empleando motocompresores.

$$\text{Facturacion de energia} = 700 * ((-0,0592 * 700) + 71,779)$$

$$\text{Facturacion de energia} = 21\,237,30 \frac{\text{S/}}{\text{mes}}$$

La reducción de la facturación es:

$$\text{Reduccion total} \frac{\text{S/}}{\text{mes}} = 21\,230,30 - 13,242,74 = 7\,994,56 \frac{\text{S/}}{\text{mes}}$$

Tabla 19

*Beneficios económicos acumulados por el cambio de tecnología de compresores*

Año	Mes	Toneladas de procesamiento (Ton)	Facturación acumulada de energía con electrocompresores (S/)	Facturación acumulada de energía con motocompresores (S/)	Reducción total S//mes
2023	Junio	700	13 367,90	21 237,30	7 869,40
	Julio	650	13 917,80	21 644,35	7 726,55
	Agosto	250	9 983,00	14 244,75	4 261,75
	Octubre	672	13 704,36	21 501,72	7 797,35
	Noviembre	700	13 367,90	21 237,30	7 869,40
	Diciembre	750	12 586,50	20 534,25	7 947,75
2024	Febrero	800	11 573,60	19 535,20	7 961,60
	Marzo	600	14 236,20	21 755,40	7 519,20
	Abril	600	14 236,20	21 755,40	7 519,20
	Junio	600	14 236,20	21 755,40	7 519,20
	Agosto	750	12 586,50	20 534,25	7 947,75
Total periodo de evaluación (S/)					81 939,15

*Nota.* Elaboracion propia.

Para el caso de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por cambio tecnológico, se tiene en cuenta el ejemplo del mes junio 2023:

Las emisiones emitidas facturación de energía eléctrica para junio 2023 es de 3,10 Ton. CO<sub>2</sub>/mes.

Seguidamente se determina las emisiones vertidas empleando la ecuación de LBE para el IDEs3 empleando motocompresores.

*Emisiones CO<sub>2</sub> empleando motocompresores*

$$= 700 * ((-0,0256 * 700) + 34,528)$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ empleando motocompresores} = 11,63 \frac{\text{Ton. CO}_2}{\text{mes}}$$

La reducción de las emisiones:

$$\text{Reduccion total} \frac{\text{Ton. CO}_2}{\text{mes}} = 11,63 - 3,10 = 8,52 \frac{\text{Ton. CO}_2}{\text{mes}}$$

Tabla 20

*Beneficios ambientales por el cambio de tecnología de compresores*

Año	Mes	Toneladas de procesamiento (Ton)	Ton CO <sub>2</sub> /mes (electrocompresor)	Ton CO <sub>2</sub> /mes (motocompresores)	Reducción total Ton CO <sub>2</sub> /mes
2023	Junio	700	3,10	11,63	8,52
	Julio	650	3,12	11,63	8,50
	Agosto	250	1,42	7,03	5,61
	Octubre	672	3,29	11,64	8,36
	Noviembre	700	3,08	11,63	8,55
	Diciembre	750	3,10	11,50	8,40
2024	Febrero	800	3,35	11,24	7,89
	Marzo	600	2,77	11,50	8,73
	Abril	600	2,61	11,50	8,89
	Junio	600	2,87	11,50	8,63
	Agosto	750	3,33	11,50	8,16
Total periodo de evaluación (Ton CO <sub>2</sub> )					90,25

*Nota.* Elaboracion propia.

Se presenta la evaluación económica del cambio tecnológico de motocompresores a electrocompresor.

Se tienen en cuenta los siguientes parámetros de cálculo para determinación del VAN y TIR:

Inversión: S/ 310 676,30 (Ver anexo)

Ahorros anuales: S/. 81 939,15

Opex por Operación y mantenimiento: S/. 5 400,00 (Ver anexos)

Tasa de interés: 12%

Vida útil: 10 años.

Valor actual neto.

$$\text{VAN} = -310\,676,30 + \sum_{t=1}^{10} \frac{81\,939,15 - 5\,400}{(1 + 0.12)^t} = 343\,151,26$$

El valor del VAN es S/ 343 151,26 el cual es un valor positivo, por lo tanto la implementación del cambio tecnológico de compresores es rentable.

Tasa interna de retorno.

$$0 = -310\,676,30 + \sum_{t=1}^{10} \frac{81\,939,15 - 5\,400}{(1 + \text{TIR})^t}$$

$$\text{TIR} = 20,96 \%$$

El valor de la tasa interna de retorno es igual a 20,96%, el cual es un valor superior a la tasa de interés del mercado de 12%, por lo tanto, la implementación del cambio tecnológico de compresores es rentable.

#### 4.5 Discusión de resultados.

Se concuerda con lo desarrollado por Alor, L. (2019) quien concluyo sobre la importancia de los redimensionamientos de los sistemas de aire comprimido, cuales requieren la adecuada selecciones de los componentes e indica que los sistemas con electrocompresores presentan mejores rendimientos, para ello incremento su capacidad

en este caso realizando una adecuada gestión de la energía en lo referente al manejo de la carga , para su caso la presión de operación es de 30 bar incrementando su capacidad en un adicional de 8,5 m<sup>3</sup> y mantenimiento en el complejo industrial una caída de presión máxima de 1 bar que representa el 3,33%. En nuestro informe se realizó un cambio tecnología de compresores coincidiendo con los resultados de Alor, L(2019), alcanzando un mejor desempeño del sistema de generación de aire comprimido. Del mismo modo el dimensionamiento tuvo en cuenta un máximo de caída de presión desde el punto de suministro al punto mas lejano de la red de 6,91%.

En el caso de Bejarano, M. (2011) que realizo una investigación para un Astillero cuenta con una máxima demanda de 28 m<sup>3</sup> con un indicador de 0,9 m<sup>3</sup>/U\$ para lo cual realizo un cambio tecnológico desde compresores a pistón a compresores de tornillo (incluyendo un segundo compresor de reserva) lo cual encareció la generación de aire comprimido, del mismo modo realizo un redimensionamiento de la red de tuberías mejorando la distribución en toda le red de distribución industrial, con una inversión de de 85 274 US\$, con un periodo de recuperación (pay back) de 4,6 años. Se estimo una reducción del consumo de energía eléctrica en 220 870 kWh. Para nuestro estudio si bien es cierto no se presenta el pay back en la hoja de resultados este es de 3,3 años (Inversión/ (ahorros-OPEX)) con un desempeño evaluado en la reducción de energía equivalente de 2 794,2 galones equivalentes/año, 81 939,15 Soles y 90,25 Ton. CO<sub>2</sub> dejados de emitir al año. Y con una inversión de 82 189,5 U\$ (a una tasa de cambio de 3,78 S./U\$)

Por su parte García, A. (2024) realizo la propuesta de que el desempeño energético presenta tres componentes el técnico (asociado al parte energético), económico y ambiental. Alcanzando valores porcentuales de mejora del indicador de desempeño económico mejora en 6.4%, el indicador de desempeño energético técnico de 4,1% y el indicador de desempeño energético ambiental en 3,2% para una mejora tecnológica en sistema de vapor existente. Para nuestro caso la mejora del desempeño energético asociado al cambio tecnológico de compresores con lo cual se consigue mejorar los indicadores de desempeño energético en 22% para el indicador de desempeño energético, 36,3% los indicadores de desempeño energético económicos y 73,8% los indicadores de desempeño energético ambiental, asociados a la reducción del combustible equivalente, facturación acumulada y emisiones, para un sistema que

incluye el cambio de la matriz energética del sistema de compresión y distribución de aire comprimido.

En el caso de Hernández, J. (2012) en la cual realizó cambio de tecnología de los motores eléctricos de un compresor para mejorar el rendimiento eléctrico, consigue una reducción de 20 435,76 kWh anuales por cada motor eléctrico desde un rendimiento de 85% a 95% , reduciéndose la facturación de energía eléctrica en 96 473,09 pesos (equivalente a 18 329 soles a una tasa de cambio de 1 peso mexicano a 0,19 soles). En nuestro caso la reducción de la facturación por energía al variar la matriz energética desde petróleo BD5 a Energía eléctrica en el accionamiento del compresor se alcanzan ahorros anuales de 65 923,77 soles. El cual es un indicador a ir mejorando progresivamente en el Astillero Ferrol al ir optimizando el consumo de energía eléctrica. En la investigación de Moreno, M. (2018) determinó la importancia de los sistemas de administración de la energía mediante igual consiguió un ahorro de consumo de energía eléctrica en 473 800 kWh /año, modulando la carga del electrocompresor reduciendo para ello tiempos muertos de espera en la operación. En nuestra investigación se inició el primer paso que es el cambio de matriz energética desde motocompresores a electrocompresor LS90S lo cual permitió una reducción de costos anuales de 81 939,15 soles.

Para Palacios, J. (2019) en su investigación desarrollada en una red de aire comprimido concluye que es más económico operar con electrocompresores con conexión a la red eléctrica externa con respecto a operar con motocompresores en una diferencia de costos anuales de 25% con un sistema que requiere 704,1 m<sup>3</sup>/h (un promedio de 30 m<sup>3</sup>/min a plena carga). En nuestra investigación se valida los resultados en la investigación anterior con la diferencia de que a una carga proyectada de 12,48 m<sup>3</sup>/min permite una reducción de costos de 37,6%.

Mientras que Procil, M. (2020) determinó que entre una demanda oscilante de 870,7 m<sup>3</sup>/h y 186,62 m<sup>3</sup>/h, se obtiene un indicador de desempeño energético económico de 0,0152 USD/m<sup>3</sup> (17,4 S./m<sup>3</sup>) para una planta de pinturas con una facturación promedio de U\$ 5 000 (18 900 soles). En nuestra investigación se alcanzó el mejor IDEs2 acumulado de 17,19 S./tonelada procesada asociada a las actividades de arenado y pintado en el Astillero.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 Conclusiones.

- Se determino los IDEs de la red de aire comprimido de Astillero Ferroles operando como motocompresores, los cuales son un procesamiento de 700 toneladas procesadas para el IDEs1 1,87 galones de BD5/Ton. procesado, para el IDEs2 acumulado 31,85 S/. por facturación de BD5/ Ton. procesado asociado a un IDEs3 17,94 kgCO<sub>2</sub> emitidos a la atmosfera/ Ton. procesado. Obteniéndose las respectivas líneas base energética para diversos rangos de procesamiento de pintado y arenado para embarcaciones de 250, 300 y 400 Toneladas y una chata de descarga 50 Toneladas.
- Se realizo el dimensionamiento de la red de aire comprimido, cambiando la matriz energética desde petróleo BD5 a energía eléctrica de la red exterior, seleccionando un compresor de tornillo LS90S con un depósito de 5 000 litros de capacidad y redes de aire comprimido para 2 circuitos (cada uno de ellos con 2 suministros para pintado y 2 para arenado) , obteniéndose una caída de presión máxima hasta el punto más alejado del punto de ubicado en la sala del compresor hasta el punto de pintado 4 de 6,91 %.
- Se determino el desempeño energético en la red de aire comprimido de Astillero Ferroles operando como electrocompresores, para lo cual se tienen los siguientes indicadores de desempeño energético, para un procesamiento de 700 toneladas procesadas para el IDEs1 27,74 kWh/Ton. procesado, para el IDEs2 acumulado 18,92 S/. por facturación de energía eléctrica/ Ton. procesado asociado a un IDEs3 5,92 kgCO<sub>2</sub> emitidos a la atmosfera/ Ton. procesado.
- Se han estimado los beneficios energéticos, económico y ambiental del cambio de matriz energética y tecnología de compresores, obteniéndose los siguientes resultados: para la reducción de energía equivalente de petróleo BD5 es de 2 794,2 galones equivalentes/año, 81 939,15 Soles por reducción en la facturación anual y 90,25 Ton. CO<sub>2</sub> dejados de emitir al año.
- Se concluye que el cambio de motocompresores a compresores permite mejorar el desempeño energético en el Astillero Ferrol, del mismo modo se realizó una inversión de 82 189,5 U\$ (a una tasa de cambio de 3,78 S/./U\$), con lo cual se obtiene un VAN de 343 151,26 Soles y TIR de 20,96%, verificándose también la rentabilidad de la investigación.

## 5.2 Recomendaciones.

- Se plantea a futuro realizar una inversión para la implementación de un sistema de gestión de la energía con automatización de la operación y el control de la demanda para optimizar el consumo de aire comprimido y de alguna manera optar por una implementación de segunda generación para mejorar el desempeño energético del Astillero.
- Las estructuras civiles para la instalación de una casa de fuerza de aire comprimido requiere de muchas consideraciones que no están contempladas en el reglamento de edificaciones del Perú vigente, tal como la influencia de la generación de ruido y vibraciones solo la cimentación (lo cual general es instalado por elementos disipadores de la base del compresor) pero no se toma en cuenta un valor normado para poder reducir sus costos según valores que si se cuentan en normas internacionales de construcción de casas de fuerza de aire comprimido. Esto presenta ser un trabajo pendiente, en el cual los ingenieros en energía pueden aportar a la parte ingeniería civil.
- No se realizó un circuito en anillo, porque se tendrá a futuro el ingreso de las embarcaciones de 250,300 y 400 toneladas por los lados izquierdo y derecho, mientras que en la parte central ingresarán las chatas de 50 Toneladas, hubiera sido evaluar una altura de distribución de la red de más de 9 metros para que puedan circular las embarcaciones, pero eso encarecería los costos en el OPEX e incrementaría los costos de instalación.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alfaro, A. (2018). Modelado y simulación de compresores. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Carlos III de España. Disponible en:  
<https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/8ee536d2-63b4-4d71-968b-a12402ba2822/content>
- Alor, L. (2019). Propuesta para la mejora de la eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido en plantas cerveceras en el área de soplado de botellas PET según la norma ISO 11011:2013. Tesis para optar el título Ingeniero Industrial en la UTP. Perú. Disponible en:  
[https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2191/Luis%20Alor\\_Tesis\\_Titulo%20Profesional\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2191/Luis%20Alor_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Asencio, R. (2018). DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA PROCESOS ELECTRO NEUMÁTICOS DE LÓGICA CABLEADA. Tesis de Ingeniero Mecánico. Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua. Disponible en:  
[https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/405/Reynaldo\\_Tesis\\_titulo\\_2018.pdf;jsessionid=7C69B6A016122C260CF97DE394E30EDC?sequence=1](https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/405/Reynaldo_Tesis_titulo_2018.pdf;jsessionid=7C69B6A016122C260CF97DE394E30EDC?sequence=1)
- Atlas Copco (2023). Compresores de aire eléctricos. Página web de Atlas Copco. España. Disponible en:  
<https://www.atlascopco.com/es-pe/construction-equipment/products/mobile-air-compressors/electric-compressor>
- Bejarano, m. (2014). Optimización técnico - económica del consumo de energía eléctrica del sistema de aire comprimido del astillero Sima Chimbote. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2520>
- Blanca, F. (2022). Análisis de eficiencia energética para la optimización del sistema de aire comprimido en planta siderúrgica. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Mecánico. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile. Disponible en.  
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/53912/m19788063-5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Capurro, F. (2012). SECCIONAMIENTO DE DOS COMPRESORES TIPO PISTÓN Y MEMBRANA PARA EL I.T.S.A. Tesis para título de Tecnólogo Mecánico aeronáutico. Instituto Tecnológico Aeronáutico de Ecuador. Disponible: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/29597/1/M-ESPEL-CMA-0306.pdf>
- Centeno, J. & Jiménez, V. (2010). MANUAL CONSULTIVO DE CONTROL NEUMÁTICO Y NEUMÁTICO UTILIZANDO EL SOFTWARE FESTO fluidSIM. Tesis de Ingeniero Mecánico. Universidad de Cotopaxi. Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/604/1/T-UTC-1070.pdf>
- Chicago Pneumatic, (2020) Partes de un Compresor de Aire de Tornillo. Blog de Chicago Pneumatic. USA. Disponible en: <https://compressors.cp.com/es-latinamerica/products/compresor-de-aire/compresor-de-tornillo/aprenda-mas-sobre-compresores-de-tornillo/partes-de-un-compresor-de-tornillo>
- Cienciasfera. (2023). Distribución de aire comprimido. Blog de Cienciasfera. España. Disponible en: [https://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema05/23\\_distribucion\\_de\\_aire\\_comprimido.html](https://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno02/tema05/23_distribucion_de_aire_comprimido.html)
- Cybermatics. (2024). Red de distribución neumática. Blog Newsletter CYB Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/red-de-distribucion-neumatica-cybermatics-s-a-de-c-v-y61ve/>
- Enríquez, Y. (2024). Efecto del tipo de refrigerante en el dimensionamiento de una planta de congelados de 4 toneladas de capacidad. Mercado tres estrellas-Chimbote. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Perú. Disponible en: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4560>
- Festo (2024). Unidades de Mantenimiento. Página web de Empresa FESTO. España. Disponible en: <https://www.festo.com/pe/es/a/542272/?q=%7E%3AsortByCoreRangeAndNewProduct>

- García, A.(2020) Conceptos básicos motor jaula de ardilla. Blog de Álvaro García. España. Disponible:  
<https://tem-sl.com/wp-content/uploads/2020/05/13-EFICIENCIA.pdf>
- García, M. (2024). Efecto de la inyección de condensado presurizado en los indicadores de desempeño energético de generadores de vapor pirotubulares. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4669>
- Guevara. R. (2020). Manual de Diagnósticos Energéticos. I Unidad. Documento de uso interno de la Universidad Nacional del Santa. Disponible en:  
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-santa/eficiencia-energetica/manual-dre-1-notas-de-eficiencia/66717106>
- Guevara, A. & García, D. (2024) Impacto del recalentamiento en cascada con hornos de inducción en la mejora de los indicadores energéticos del proceso de calentamiento de palanquillas. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4606/Tesis%20Guevarra%20-%20Garc%c3%ada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, J. (2012). Eficiencia energética y calidad de la energía eléctrica en planta bebidas mundiales S.A de C.V. Tesis de Maestría. Centro de Investigación de Materiales Avanzados. México. Disponible en:  
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/585/1/Tesis%20Julio%20Antonio%20Hern%C3%A1ndez%20Valenzuela%2C%20%20Jos%C3%A9%20Luis%20Peinado%20Mart%C3%ADnez.pdf>
- Hernández, J. (2019) Evaluación del Desempeño Energético en una empresa de autopartes, como base para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía. Instituto Politécnico Nacional de México. Disponible en:  
<file:///C:/Users/HP%20250/Downloads/Hernandez%20Maya%20Jeanet.pdf>
- Ibarguen, J., Angulo, J., Rodríguez, J. & Prias, O. (2019). Indicadores de desempeño energético: Una ruta hacia la sustentabilidad. “Caso de estudio una industria torrefactora de café”. Artículo de Investigación DYNA. Universidad de Colombia. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/journal/496/49655603023/html/>

- Inducom. (2024). ¿Qué son los compresores de pistón de 1 y 2 etapas? Blog de Inducom. Perú. Disponible en:  
<https://inducom.com.pe/que-son-los-compresores-de-piston-de-1-y-2-etapas/>
- Legrais Transair. (2024). Catalogo de componentes nemáticos. Empresa Transair. Sucursal Peru. Disponible em:  
<https://cl.microautomacion.com/wp-content/uploads/2020/09/Catalogo-redes-de-aire-transair.pdf>
- López, X. (2023) Incremento de temperatura de suministro de agua de calderos mediante un Sistema Óptimo de Recuperación de Calor. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4319>
- Madariaga, D. (2013). Diseño e implementación de indicadores de desempeño energético para empresa de telecomunicaciones. Tesis de Ingeniero Civil Industrial Universidad de Chile. Disponible en:  
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115007>
- Méndez, O. & Montalvo, L. (2019) ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL UTILIZANDO LA NORMA ISO 50001. Tesis de Maestría Universidad Pedro Ruiz Gallo. Disponible en:  
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9050>
- Metrafil. (2024) NUESTRO COMPRESOR DE TORNILLO Y SUS VENTAJAS. Blog de Metrafil. España. Disponible en:  
<https://www.metrafil.com/noticias/compresor-tornillo>
- Moreno, M. (2018). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE GESTIÓN ENERGÉTICA INTEGRADO EN LA MEJORA CONTINUA EN UNA EMPRESA EMBOTELLADORA. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. Universidad Católica Santa María. Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/7921/44.0587.II.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- NQA (2019). ISO 50001:2018 GUÍA DE IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA. México. Disponible en:  
<https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf>

- Oswos. (2024) Pérdidas del motor eléctrico. Blog de Oswos. España. Disponible en:  
<https://oswos.com/es/perdidas-motor-electrico/>
- Palacios, C. (2020). Propuesta basada en el estudio de métodos de trabajo para mejorar el proceso de reparación de válvulas de compresores recíprocos de una empresa de servicio de compresión de gas, Talara – 2020. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. Universidad Cesar Vallejo. Perú. Disponible en:  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71822/Palacios\\_MCA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71822/Palacios_MCA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Paredes, J. (2018). Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero. Tesis de Ingeniería Naval. Universidad de Cartagena. España. Disponible en:  
<https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/58c4ccb7-73d9-4411-b39c-b1ce00cc2639/content>
- Pneumatig, (2024). Equipos de preparación de aire. Blog de Pneumatig. Polonia. Disponible en:  
<https://pneumatig.eu/es/tratamiento-de-aire-comprimido/equipos-de-preparacion-de-aire.html>
- Procil, M. (2020). Diseño e Implementación de un Sistema de monitoreo energético para red de aire comprimido en una planta industrial. Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico en la UTP. Perú. Disponible en:  
[https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3771/Mijael%20Procil\\_Tesis\\_Titulo%20Profesional\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3771/Mijael%20Procil_Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Palacios, J. (2019) Análisis de eficiencia energética en sistemas de aire comprimido para industrias. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil Mecánico. Universidad de Chile. Disponible en:  
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170205/Analisis-de-eficiencia-energetica-en-sistemas-de-aire-comprimido-para-industrias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quezada, B. (2020). Arreglo del suministro de energía para optimizar la línea base energética en Empresa Isadora S.A.C. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3552>

- Ruiz, A. (2011). ANÁLISIS Y MEJORA DE UNA INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO. Tesis de Ingeniero Industrial. Universidad Carlos III de España. Disponible en:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30045316.pdf>
- Serviaire. (2024). Compresor de pistón: cómo funciona. Blog de serviaire. Peru. Disponible em:  
<https://www.serviaire.com/compresor-de-piston-como-funciona/>
- SGS. (2022). LA EFICIENCIA DEL MOTOR: CONOCE SUS TIPOS. Blog de SGS Inspección técnica de vehículos. España. Disponible:  
<https://www.serviciositv.es/blog/consejos/la-eficiencia-del-motor-que-es-y-tipos>
- Sydle (2023). CAPEX y OPEX: ¿qué son y cuál es la diferencia? Blog de Sydle. Disponible en México:  
<https://www.sydle.com/es/blog/capex-y-opex-6571e2d7981dc87d36859d4d>
- Toapanta, O. IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN DE LOS COMPRESORES RECIPROCANTES Y DE TORNILLO. Tesis de Ingeniero Mecánico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/260/3/15T00437.pdf>
- Toasa, V. (2014). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y NEUMÁTICA EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE MECÁNICA – ESPOCH. Tesis de Ingeniero Industrial. Escuela Superior Tecnológica de Chimborazo. Ecuador. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4148/3/85T00328.pdf>
- Vera, F. (2018). Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG. Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador. Disponible en:  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11355/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-152.pdf>

- Yanque, J. (2020). ANÁLISIS RÁPIDO DE DEMANDA DE AIRE EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO CON APLICATIVO MÓVIL ANDROID. Maestro en Ciencias: Ingeniería Electrónica con mención en Automatización e Instrumentación. Universidad San Agustín. Perú Disponible en:  
<https://core.ac.uk/reader/559487790>
- Yepes, V. (2019) Compresores helicoidales o de tornillo. Artículo de la Universidad Politécnica de Valencia. España. Disponible en:  
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/08/05/compresores-helicoidales-o-de-tornillo/>
- Yutzil, A. (2019). El Desempeño Energético en ISO 50001:2018. Newsletter DQS. México. Disponible en:  
<https://www.dqsglobal.com/es-mx/aprenda/blog/el-desempeno-energetico-eniso-50001-2018>
- Zavaleta, E. (2024). Efecto de la sustitución de vehículos convencionales por autos eléctricos BEV en el consumo de energía primaria. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4583/Tesis%20Zavaleta%20Mostacero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## **VII. ANEXOS**

Indice de Anexos

Anexo 1: Especificaciones técnicas de Compresor Sullair LS90S.

Anexo 2: PL-1 Plano isométrico de distribución de aire comprimido.

Anexo 3: PL-2 Plano de detalle de suministro de aire-Area de pintado.

Anexo 4: Calculo de la caída de presión de la red. Caso b.

Anexo 5: Especificaciones técnicas de tuberías y accesorios. EICEPAK

Anexo 6: Especificaciones técnicas de tanque de aire comprimido.

Anexo 7: Especificaciones técnicas de tuberías. LLEGRIS TRANSAIR

Anexo 8: Especificaciones de unidades de mantenimiento FESTO.

Anexo 9: Calculo tarifario MT3

Anexo 10: Email de Huella de Carbono-Perú

Anexo 11. Presupuesto para Inversión

Anexo 12: Presupuesto OPEX

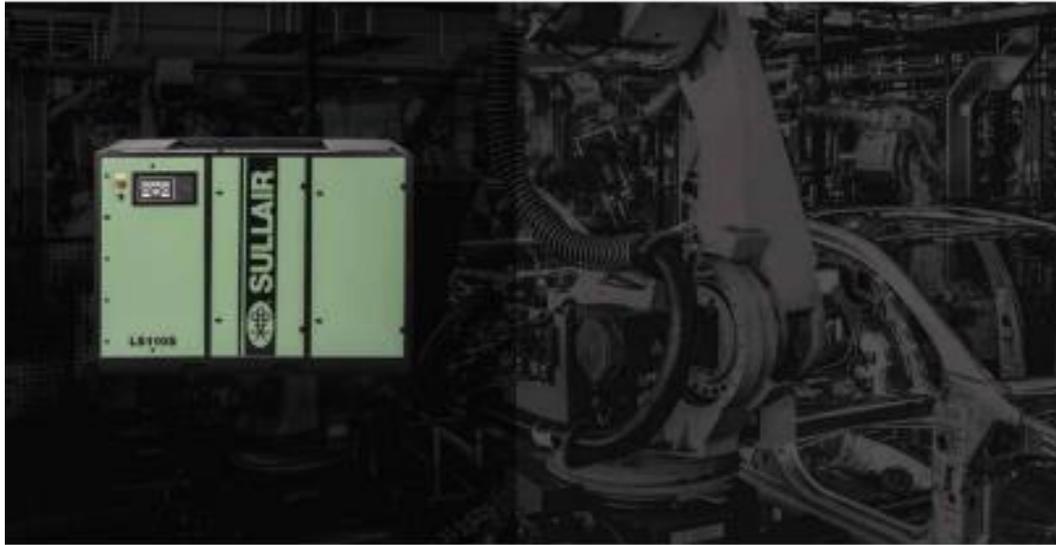
Anexo 13: Costos unitarios Zona de Concesion Chimbote Octubre 2024

Anexo 14: Facturación acumulada de energía eléctrica operando con motocompresores.

Anexo 15: Facturación acumulada de energía eléctrica operando con electrocompresores.

Anexo 1: Especificaciones técnicas de Compresor Sullair LS90S.





## DESEMPEÑO DE PRECISIÓN

### Eficiencia de clase mundial

*Menos energía para impulsar sus compresiones significa más ahorros*

- **Unidad compresora de aire Sullair (patente pendiente):** Diseñada para ser la unidad de compresión más eficiente que Sullair haya producido
- **Tecnología de válvula en espiral electrónica de Sullair:** Desempeño comprobado de válvula en espiral Sullair ahora con más precisión y control para igualar su capacidad a la demanda del sistema *(Función opcional)*
- **Mando de velocidad variable:** Proporciona la máxima eficiencia energética y consistencia operativa ajustando la velocidad del motor para coincidir con el suministro de aire comprimido necesario *(Función opcional)*

### Facilidad de uso

*Operación más sencilla e intuitiva*

- **Controlador de pantalla táctil Sullair de 10" (STS):** proporciona un fácil acceso a todos los parámetros clave de desempeño del compresor
- **Conectividad remota AirLink™:** El monitoreo remoto de las funciones del compresor es rápido y fácil desde cualquier dispositivo conectado: Computadora, tableta o teléfono
- El equipo incorpora paneles de puerta abisagradas fácilmente desmontables para un servicio y mantenimiento simplificados

### Durabilidad legendaria de Sullair

*Espera más tiempo de operación, por una vida útil más prolongada*

- El elemento de compresión de patente pendiente tiene un diseño simplificado, con la misma calidad y robustez que hemos estado produciendo durante décadas
- El motor IIEFC estándar ofrece mayor protección contra el mal tiempo, suciedad y humedad
- El motor de operación a baja velocidad de 1800 rpm proporciona una vida más prolongada en comparación a motores que operan a niveles más altos en rpm
- Componentes de alta calidad que contribuyen a garantizar una larga vida incluso en condiciones extremas de operación
- Bastidor base estándar, que ayuda a mantener la suciedad y el polvo fuera de la unidad

# COMPRESORES DE AIRE CON VSD

## MANDO DE VELOCIDAD VARIABLE

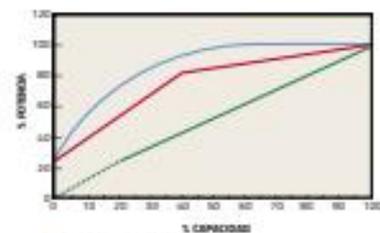
### MAXIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA CONSISTENCIA OPERATIVA

*El variador de velocidad (VSD) permite que un compresor ajuste automáticamente la velocidad del motor, haciendo coincidir la con la demanda.*

#### Los compresores Sullair con VSD proporcionan:

Excelentes ahorros de energía — solamente se produce el aire comprimido necesario

- Prevención de potenciales costos por exceso de demanda de corriente eléctrica
- Posibilidad de descuento por parte de la empresa de energía eléctrica
- Flexibilidad para el crecimiento futuro — posibilidad de variar tanto la capacidad como la presión
- El menor costo operativo
- Supresor de enlace DC
- Presión estable del sistema
  - Ayuda a asegurar una calidad de producto consistente
  - Menos fugas de aire del sistema
  - Menos requisitos de almacenamiento



— Una etapa, lubricado con aceite sin agua  
 — Una etapa, lubricado con modulación de entrada controlada  
 — Una etapa, lubricado con velocidad variable

Referencia: Manual de aire y gas comprimido, 6ra Edición, página 221-223

La gráfica es una representación de la potencia de control nominal para flujo de compresores portátiles. Una comparación detallada y precisa de modelo específico de compresor está disponible en su distribuidor autorizado.

# INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

PARA MÁS INFORMACIÓN, COMUNÍQUESE CON SU DISTRIBUIDOR LOCAL AUTORIZADO DE SULLAIR.

ESPECIFICACIONES		RANGO DE DEBITO**												
MODELO	Motor	100 psi	7,8 bar	110 psi	7,8 bar	125 psi	8,6 bar	150 psi	10,3 bar	175 psi	12,8 bar	200 psi	13,8 bar	
	hp	gal	acfm	m <sup>3</sup> /min	acfm	m <sup>3</sup> /min	acfm	m <sup>3</sup> /min	acfm	m <sup>3</sup> /min	acfm	m <sup>3</sup> /min	acfm	m <sup>3</sup> /min
L340	125	90	—	—	634	18,0	506	14,4	523	14,8	468	13,3	—	—
L340S	125	90	—	—	634	18,0	506	14,4	523	14,8	468	13,3	—	—
L340V	125	90	—	—	622	17,7	506	14,4	512	14,5	468	13,3	—	—
L370S	150	110	—	—	763	21,6	705	19,9	622	17,6	468	13,3	—	—
L370S	150	110	—	—	762	21,6	705	19,9	622	17,6	468	13,3	—	—
L370SV	150	110	—	—	743	21,1	705	19,9	617	17,5	468	13,3	—	—
L370S	200	140	1070	30,3	1025	28,8	895	25,5	875	24,8	—	—	734	20,8
L370S	200	140	1070	30,3	1025	28,8	895	25,5	875	24,8	—	—	734	20,8
L370SV	200	140	1070	30,3	1025	28,8	895	25,5	894	24,8	—	—	729	20,8

Las tasas de flujo estándar están basadas en un punto de operación de 100 psi. \*\* Las tasas de flujo de prueba son de 100 a 200 L/min. Fuente: SULLAIR

DIMENSIONES									
MODELO	LONGITUD		ANCHO		ALTURA		PESO		
	pul	mm	pul	mm	pul	mm	lbs	kg	
L340	66	2509	66	1780	76	1773	5800	2630	
L370S	66	2509	66	1780	76	1773	6807	2730	
L370S	112	2987	76	1930	76	1930	7325	3150	

CARACTERÍSTICA	NORMA	OPCIONAL
Lubricante	Sullair®	Protección para ambientes™
Cabinete	Incluso	Carburación silenciosa
Opciones de control de capacidad	—	Nivel de agua electrónico a 650
Arrancador/Boya de arranque	Carga-Detachable I	—
Refrigeración	Entrada por aire	Enfriamiento por agua
Etiquetas	Ocas paradas	—
Motor	TEFC	—
Control	Panel de Tacto Sullair de 12"	—
Monitoreo a distancia	HiLine	—
Protección eléctrica	Monitor de fase	—
Opciones Adicionales	—	Nivel regulador de agua Nivel sensor de agua Fusible de 50°C Protector contra el mal tiempo
Opciones para tiempo libre	—	Colector de cap. de condensado Colector por tiempo libre de aceite

La disponibilidad de HiLine puede variar entre regiones. Pregunte al distribuidor por las especificaciones de acceso para más detalles. Fuente: SULLAIR

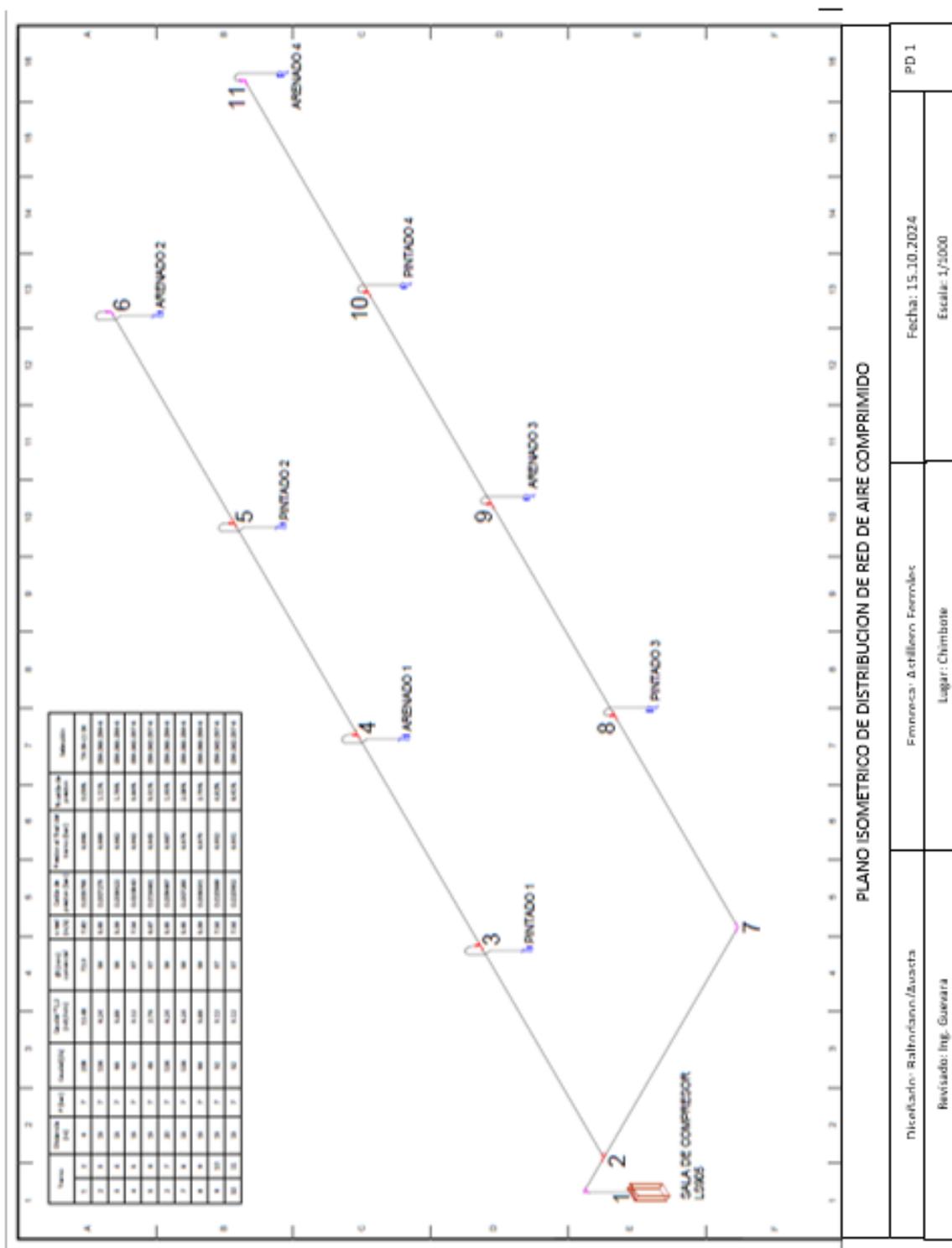


SULLAIR.COM

© 2022 Sullair LLC. Todos los derechos reservados. Las especificaciones están sujetas a cambios sin aviso. SULLAIR/202207-9  
 El nombre Sullair y el nombre Sullair, Sullair™, Sullair® y Sullair™ son marcas registradas de Sullair LLC. Protech™ es una marca registrada de Sullair LLC.

[https://america.sullair.com/sites/default/files/2022-07/LIT%20Sullair%20LS%20Series%20Brochure\\_SAPLSSeriesES202207-9\\_ES.pdf](https://america.sullair.com/sites/default/files/2022-07/LIT%20Sullair%20LS%20Series%20Brochure_SAPLSSeriesES202207-9_ES.pdf)

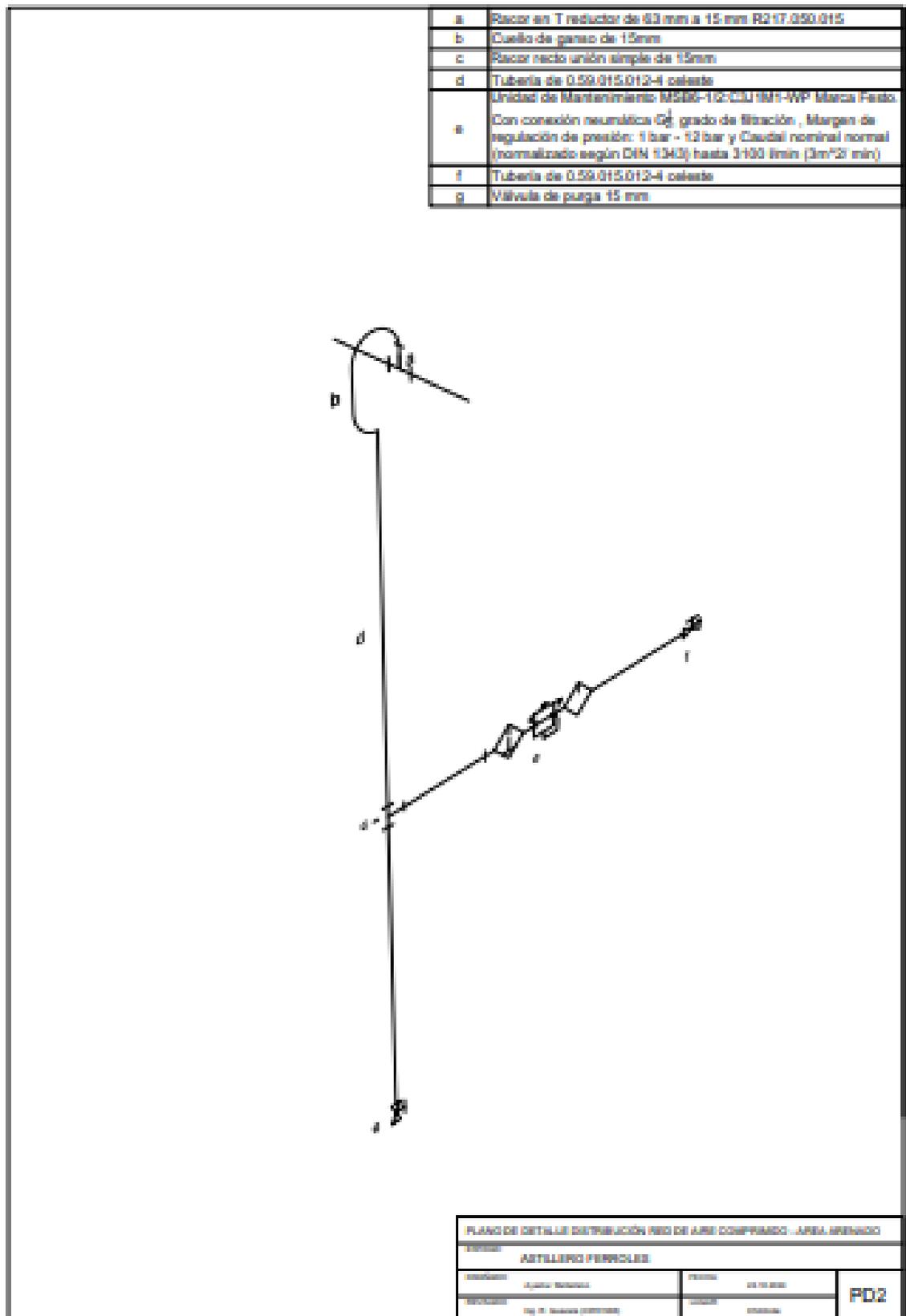
Anexo 2: PL-1 Plano de detalle de distribución de aire comprimido.



PLANO ISOMETRICO DE DISTRIBUCION DE RED DE AIRE COMPRIMIDO

Diseñador: RalfIndann/Auasta	Empresa: Actillem Ferreales	Fecha: 15.10.2024	PD 1
Revisado: Ing. Guayana	Lugar: Chimbote	Escala: 1/2000	

Anexo 3: PL-2 Plano de detalle de suministro de aire-Area de pintado.



Anexo 4: Calculo de la caída de presión de la red. Caso b.

Tramo		Distancia (m)	P (bar)	Caudal (m3/min)	Caudal *1,2 (m3/min)	Ø (mm) calculado	Øi (mm) comercial	v real (m/s)	Selección tubería Al
1	2	6	7	10,4	12,48	0,071	0,0723	7,80	TA 06-L1 04
2	3	15	7	5,2	6,24	0,0508	0,046	9,75	059.063.046-6
3	4	15	7	4,9	5,88	0,0493	0,046	9,19	059.063.046-6
4	5	15	7	2,6	3,12	0,0359	0,037	7,54	059.040.037-6
5	6	15	7	2,3	2,76	0,0338	0,037	6,67	059.040.037-6
2	7	20	7	5,2	6,24	0,0508	0,046	9,75	059.063.046-6
7	8	15	7	5,2	6,24	0,0508	0,046	9,75	059.063.046-6
8	9	15	7	4,9	5,88	0,0493	0,046	9,19	059.063.046-6
9	10	15	7	2,6	3,12	0,0359	0,037	7,54	059.040.037-6
10	11	15	7	2,6	3,12	0,0359	0,037	7,54	059.040.037-6

Tramo		Distancia (m)	P (bar)	Caudal(l/s)	Caudal *1,2 (m3/min)	Øi (mm) comercial	v real (m/s)	Caida de presion (bar)	Presion al final del tramo (bar)	% caida de presion
1	2	6	7	208	12,48	72,3	7,80	0,003793	6,996	0,05%
2	3	15	7	104	6,24	46	9,75	0,025244	6,971	2,90%
3	4	15	7	98	5,88	46	9,19	0,022698	6,948	5,17%
4	5	15	7	52	3,12	37	7,54	0,020942	6,927	7,27%
5	6	15	7	46	2,76	37	6,67	0,016743	6,911	8,94%
2	7	20	7	104	6,24	46	9,75	0,033659	6,963	3,75%
7	8	15	7	104	6,24	46	9,75	0,025366	6,937	6,28%
8	9	15	7	98	5,88	46	9,19	0,022809	6,914	8,56%
9	10	15	7	52	3,12	37	7,54	0,021045	6,893	10,67%
10	11	15	7	52	3,12	37	7,54	0,021109	6,872	12,78%

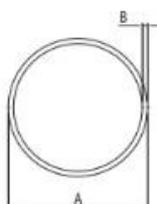
Nota. Elaboracion propia

## Anexo 5: Especificaciones técnicas de tuberías y accesorios.

### TUBERIA ECOLOGICA PARA AIRE COMPRIMIDO



**ALUMINIUM PIPE**  
 TUBO IN ALLUMINIO  
 TUBO DE ALUMINIO  
 TUBE EN ALUMINIUM  
 ALUMINIUMROHR



Code	A	B	Length	(kg/m)
<b>059.020.017</b>	20	1,5	4 m	0,24
<b>059.025.022</b>	25	1,5	4 m	0,27
<b>059.032.029</b>	32	1,5	4 m	0,35
<b>059.040.037</b>	40	1,5	4 m	0,46
<b>059.050.046</b>	50	2	4 m	0,76
<b>059.063.059</b>	63	2	4 m	0,99
<b>059.020.017-6</b>	20	1,5	6 m	0,24
<b>059.025.022-6</b>	25	1,5	6 m	0,27
<b>059.032.029-6</b>	32	1,5	6 m	0,35
<b>059.040.037-6</b>	40	1,5	6 m	0,46
<b>059.050.046-6</b>	50	2	6 m	0,76
<b>059.063.059-6</b>	63	2	6 m	0,99
<b>059.015.012</b>	15	1,5	4 m	0,18
<b>059.018.015</b>	18	1,5	4 m	0,21
<b>059.022.019</b>	22	1,5	4 m	0,24
<b>059.028.025</b>	28	1,5	4 m	0,31

Blue powder-coated aluminium / Alluminio verniciato blu / Aluminio pintado azul  
 Aluminium peint en bleu / Blau lackiertes Aluminium

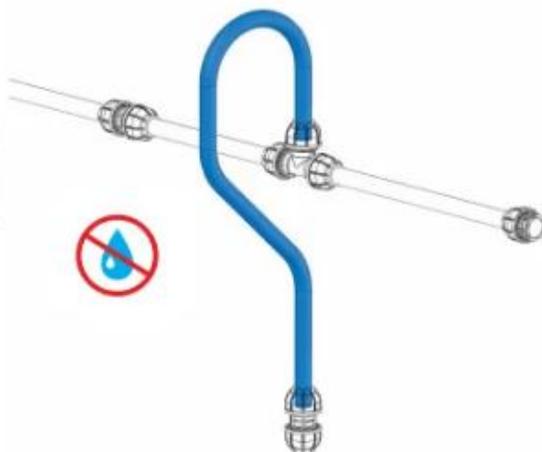
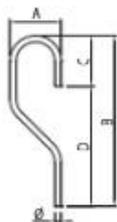
### CURVAS DE BAJADA O CUELLO DE GANSO



**DROP BENDS**  
 CURVE DI CALATA  
 CURVAS DE BAJADA  
 TUBES PREFORMES  
 SCHWANENHALS ROHRBOGEN

Code	∅	A	B	C	D	(g)
<b>059.015.100</b>	15	110	435	102,5	332,5	120
<b>059.020.100</b>	20	160	500	160	340	197
<b>059.022.100</b>	22	160	550	155	395	209
<b>059.025.100</b>	25	195	600	195	405	267

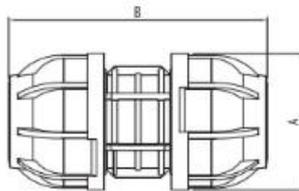
Blue powder-coated aluminium / Alluminio verniciato blu / Aluminio pintado azul  
 Aluminium peint en bleu / Blau lackiertes Aluminium  
 Ral 5015



## RACOR UNION TUBO – TUBO



**STRAIGHT FITTING**  
 MANICOTTO GIUNZIONE DIRITTO  
 MANGUITO DE UNIÓN RECTO  
 MANCHON JONCTION DROIT  
 GERADER VERBINDER



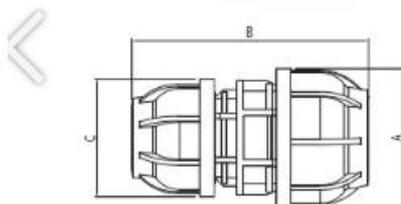
Code	Ø	A	B				(g)
<b>R210.020.020</b>	20x20	44	85		5	140	58
<b>R210.025.025</b>	25x25	52	97		5	90	97
<b>R210.032.032</b>	32x32	62	113		5	40	165
<b>R210.040.040</b>	40x40	72	129		1	35	215
<b>R210.050.050</b>	50x50	86,50	157		1	18	401
<b>R210.063.063</b>	63x63	105	182		1	12	633



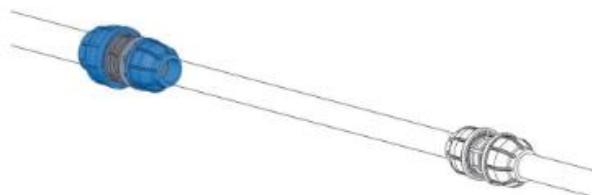
## RACOR RECTO-UNION REDUCTOR



**STRAIGHT REDUCING FITTING**  
 MANICOTTO GIUNZIONE RIDOTTO  
 MANGUITO DE UNIÓN REDUCIDO  
 MANCHON JONCTION RÉDUCTEUR  
 REDUZERVERBINDER



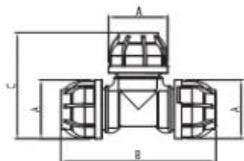
Code	Ø	A	B	C			(g)
<b>R212.025.020</b>	25x20	52	91	44	5	110	81
<b>R212.032.025</b>	32x25	62	103,50	52	5	60	133
<b>R212.040.032</b>	40x32	72	121	62	5	40	193
<b>R212.050.040</b>	50x40	86,50	145,50	72	1	25	320
<b>R212.063.050</b>	63x50	105	167	86,50	1	18	531



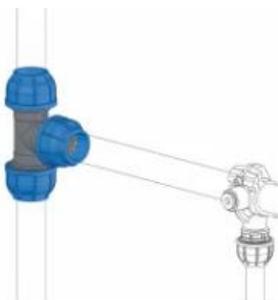
## RACOR EN «T»



**"TEE" FITTING**  
 RACCORDO "T" PARI  
 EMPALME EN "T"  
 RACCORD EN "T"  
 T-STÜCK



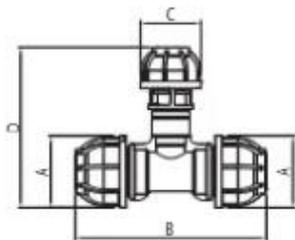
Code	Ø	A	B	C			(g)
<b>R214.020.000</b>	20x20x20	44	109,50	76,50	5	80	89
<b>R214.025.000</b>	25x25x25	52	132	93,50	5	40	155
<b>R214.032.000</b>	32x32x32	62	159,50	111	5	25	255
<b>R214.040.000</b>	40x40x40	72	182	127,50	1	18	367
<b>R214.050.000</b>	50x50x50	86,50	225	154	1	10	697
<b>R214.063.000</b>	63x63x63	105	262	182	1	5	1123



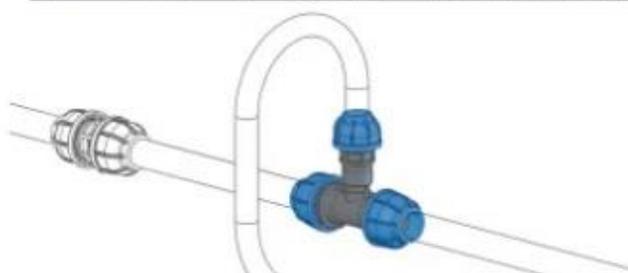
## RACOR «T» x 3 LADOS PARA REDUCIR



**REDUCING "TEE" FITTING**  
 RACCORDO "T" RIDOTTO  
 RACOR "T" REDUCIDO  
 RACCORD EN "T" RÉDUIT  
 T-REDUZIERSTÜCK



Code	Ø	A	B	C	D			(g)
<b>R217.025.020</b>	25-20-25	52	132	44	121	5	40	151
<b>R217.032.020</b>	32-20-32	62	159,50	44	132	5	30	233
<b>R217.032.025</b>	32-25-32	62	159,50	52	143	5	30	250
<b>R217.040.020</b>	40-20-40	72	182	44	150	1	20	355
<b>R217.040.025</b>	40-25-40	72	182	52	161	1	20	373
<b>R217.040.032</b>	40-32-40	72	182	62	169	1	15	399
<b>R217.050.020</b>	50-20-50	86,50	225	44	168	1	10	629
<b>R217.050.025</b>	50-25-50	86,50	225	52	179	1	10	648
<b>R217.050.032</b>	50-32-50	86,50	225	62	187	1	10	670
<b>R217.050.040</b>	50-40-50	86,50	225	72	196	1	5	725
<b>R217.063.020</b>	63-20-63	105	262	44	195	1	5	1002
<b>R217.063.025</b>	63-25-63	105	262	52	206	1	5	1024
<b>R217.063.032</b>	63-32-63	105	262	62	214	1	5	1031
<b>R217.063.040</b>	63-40-63	105	262	72	223	1	5	1125
<b>R217.063.050</b>	63-50-63	105	262	86,50	235	1	5	1144



<https://eicepak.com/sicomat/>

Anexo 6: Especificaciones técnicas de tanque de aire comprimido.

[www.kaeser.com](http://www.kaeser.com)

**KAESER**  
COMPRESORES

**Tanques de almacenamiento de aire comprimido**

Capacidad de almacenamiento: 50/10 000 l



# Tanques de almacenamiento de aire comprimido

## Nos encargamos de todo

Los tanques de almacenamiento de aire comprimido KAESER COMPRESORES son recipientes presurizados que, además de servir como acumuladores, desempeñan dos funciones de vital importancia en la estación de aire comprimido: Compensan las fluctuaciones de la demanda y, con frecuencia, separan el condensado del aire comprimido. Su desempeño total depende, en gran medida, de elegir el tamaño correcto y de emplear una protección anticorrosiva confiable. Vienen en dos versiones: horizontal y vertical, brindando esta última la ventaja de ocupar menos espacio.

### Estructura de excelente calidad

Independientemente de la capacidad del tanque por la que se opte, ya sea de 90 o 10.000 litros a una presión de 160, 230, 650 o 725 psi, los tanques de almacenamiento de aire comprimido KAESER son la elección más rentable y segura. Solo ellos garantizan la excelente calidad de nuestra marca: Recipiente totalmente hermético, revestimiento anticorrosivo, conexiones y acoples perfectamente dimensionados y reforzados en fábrica después de la galvanización y una moderna protección para su transporte.

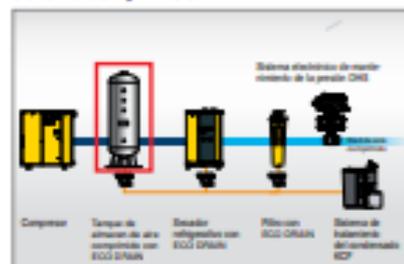
### Intervalos de revisión de hasta cinco años

La robusta estructura de gran grosor que cumple con las estipulaciones de las normas **AD 2000 y DIN EN ISO 14801**, permite que los intervalos de revisión de estos tanques se prolonguen hasta por cinco años, reduciendo tanto la frecuencia como los costos de mantenimiento. El resultado: mayor grado de disponibilidad y máxima rentabilidad.

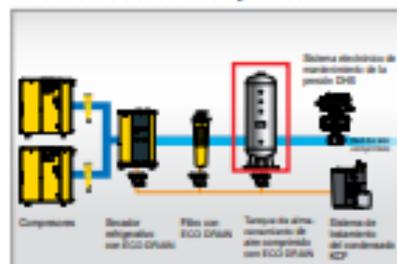
### Accesorios personalizados

Los kits de accesorios, diseñados a la medida de cada aplicación: válvula de bola y válvula de seguridad; válvula de purga, acoples, juntas, conexiones y manómetro, entre otros, simplifican la instalación y optimizan el funcionamiento completo del tanque. Los drenes electrónicos de condensado ECO Drain, adaptados a cada tanque de aire comprimido, se entregan completos y listos para garantizar la óptima seguridad operativa, el total cumplimiento de las normas ambientales y de tratamiento de aguas residuales también está disponible como opción.

### Instalación antes del sistema de tratamiento del aire comprimido



### Instalación después del sistema de tratamiento del aire comprimido



## Datos técnicos

Capacidad del Tanque	Presión máxima permitida	Versiones posibles		Versión vertical				Versión horizontal			
		Vertical	Horizontal	Altura mm	Ø mm	Conexión de entrada/salida	Peso kg	Longitud mm	Ø mm	Conexión de entrada/salida	Peso kg
90	160	SI	—	1100	250	2 x G 1/2 h/men	37	—	—	—	—
150	160 230	SI	SI	1100	400	2 x G 1/2 h/men	60 67	1050	450	2 x G 2	55 65
250	160 230	SI	SI	1540 1542	500	2 x G 1/2 h/men	84 100	1410 1410	500	2 x G 2	84 100
350	160 230	SI	SI	1810	550	2 x G 1 h/men	100 152	1630 1640	550	2 x G 2	101 164
500	160 230	SI	SI	1925 1948	600	2 x G 1 h/men	110 210	1780	600	2 x G 2	130 200
	—		1925	—			—				—
900	160	SI	—	2170	800	2 x G 2; 2 x G 1 1/2	238	—	—	—	—
1000	160 230	SI	SI	2265 2255	800	2 x G 1 1/2; 2 x G 2	244 267	2150 2140	800	G2; 1 x G 1 1/2	240 300
	2242			4 x G 1 1/2			300	-			-
2000	160 230	SI	SI	2375 2460	1150 1100	4 x G 2 1/2	470 500	2180	1150	2 x G 2	470 600
	725		—	2400	1100	4 x DN 80	620	—	—	—	—
3000	160 230	SI	SI	2705 2842	1250	4 x G 2 1/2	680 850	2810 3040	1250 1150	2 x G 2 1/2 2 x G 2	680 850
5000	160 230	SI	SI	3570	1400	4 x DN 100	1400 1400	3470 3700	1400	4 x DN 100	1100 1800
8000	160 230	SI	SI	4400	1600	4 x DN 200	1680 2050	4440 4400	1600	4 x DN 200	1850 2350
10000	160 230	SI	SI	5415	1800	4 x DN 200	2050 2540	5400 5440	1800	4 x DN 200	2300 2920

[https://compresoresalemanes.com/images/pdf/TANQUES/CATALOGO\\_TANQUES.pdf](https://compresoresalemanes.com/images/pdf/TANQUES/CATALOGO_TANQUES.pdf)

## Anexo 7: Especificaciones técnicas de tuberías. LLEGRIS TRANSAIR

### > Tubos rígidos aluminio calibrados

- > Prestaciones de caudal óptimas
- > Ligereza
- > Pintura certificada QUALICOAT
- > 2 colores : azul (RAL 5012/BS1710), gris (RAL 7001) (otros : sírvanse consultarnos)
- > Tubos Ø 76 y Ø 100 también disponibles en versión inox (sírvanse consultar)
- > Fluidos compatibles : aire comprimido, vacío, nitrógeno, argón (otros : sírvanse consultarnos)

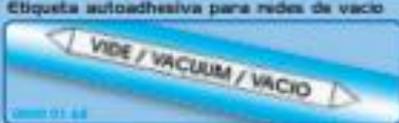
- > Presión máxima de servicio :
  - 13 bar de -20°C a +60°C
  - 16 bar de -20°C a +45°C
- > Nivel de vacío : 98,7% (13 mbar en presión absoluta)
- > Temperatura de utilización : -20°C a +60°C
- > Tubo (según normas NF EN 755.2, EN 755.8, EN 573.3)

Ø	Color	Dest.	Øint.	L (m)				
				3	6			
16,5	Azul	1003A17 04 00	16,5	13	2.430			
		1003A23 04 00	25	20	2.903			
		1003A23 04 00	25	22	3.903			
		1003A40 04 00	40	27	3.885			
		1003A40 04 00	40	27	5.885			
		1003A40 04 00	40	27	6.885			
25	Azul	1003A17 04 00	16,5	13	2.430			
		1003A23 04 00	25	20	2.903			
		1003A23 04 00	25	22	3.903			
		1003A40 04 00	40	27	3.885			
		1003A40 04 00	40	27	5.885			
		1003A40 04 00	40	27	6.885			
40	Azul	1003A17 04 00	16,5	13	2.430			
		1003A23 04 00	25	20	2.903			
		1003A23 04 00	25	22	3.903			
		1003A40 04 00	40	27	3.885			
		1003A40 04 00	40	27	5.885			
		1003A40 04 00	40	27	6.885			
63	Azul	1003AA3 04	63	59	3.950			
		1003AA3 04	63	59	5.950			
		Gris	1003AA3 04	63	59	3.950		
			1003AA3 04	63	59	5.950		
			76	Azul	1A03 L1 04	76,3	72,3	6.000
					1A06 L1 04	76,3	72,3	6.000
1A03 L3 04	101,8				97,2	6.000		
1A06 L3 04	101,8				97,2	6.000		
100	Azul	1A03 L1 04			76,3	72,3	6.000	
		1A06 L1 04			76,3	72,3	6.000	
		1A03 L3 04	101,8	97,2	6.000			
		1A06 L3 04	101,8	97,2	6.000			
		Gris	1A03 L1 04	76,3	72,3	6.000		
			1A06 L1 04	76,3	72,3	6.000		
1A03 L3 04	101,8		97,2	6.000				
1A06 L3 04	101,8		97,2	6.000				

Etiqueta autoadhesiva para redes de aire



Etiqueta autoadhesiva para redes de vacío



<https://cl.microautomacion.com/wp-content/uploads/2020/09/Catalogo-redes-de-aire-transair.pdf>

Anexo 8: Especificaciones de unidades de mantenimiento FESTO.

**Unidades de mantenimiento combinadas  
MSB6-1/2-C3)1M1-WP**

Número de artículo: 542272

FESTO



Hoja de datos



General operating conditions

Característica	Valor
Tamaño	6
Serie	MS
Bloqueo del accionamiento	Botón gloriario con bloqueo cierre con accesorios
Posición de montaje	Vertical +/- 5°
Grado de filtración	40 µm
Purga de condensado	Giro manual
Forma constructiva	Válvula de cierre Filtro regulador con manómetro Lubricador estándar de niebla de aceite
Función del regulador	Presión inicial constante Con compensación de la presión inicial Con escape de aire secundario Con flujo inverso
Protección de funda	Funda de protección de material sintético
Símbolo	80991595
Indicador de presión	Con manómetro
Presión de funcionamiento	1,5 bar ... 18 bar
Margen de regulación de presión	1 bar ... 12 bar
Caudal nominal normal (normalizado según DIN 1343)	3100 l/min
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2000 [7:4:4] Gases inertes
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Adecuado funcionamiento con lubricación (o cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Conformidad PWS	VDMA24264-B1/B2-L
Temperatura de almacenamiento	-10 °C ... 60 °C
Aptitud para el contacto con alimentos	Véase la información complementaria sobre el material
Clase de pureza del aire en la salida	Aire comprimido según ISO 8573-1:2000 [7:4:-]
Temperatura del medio	-10 °C ... 60 °C
Temperatura ambiente	-10 °C ... 60 °C
Peso del producto	1750 g
Tipo de fijación	Con accesorios
Conexión neumática 1	G1/2
Conexión neumática 2	G1/2
Conexión neumática 3	G1/2
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material del cuerpo	Función inyectada de aluminio

<https://www.festo.com/pe/es/a/download-document/datasheet/542272>

## Anexo 9: Calculo tarifario MT3

### Consumos de Energia 2023-2024

Año	Mes	energía			Potencia
		EAHFP (kWh)	EAHP (kWh)	Erl (kVARh)	PAGU (kW)
2023	Junio	13 620	896	3 020	90
	Julio	13 260	1 360	2 639	90
	Agosto	5 620	1 020	1 203	90
	Octubre	12 360	3 025	3 560	90
	Noviembre	11 520	2 894	3 956	90
	Diciembre	12 560	1 950	3 330	90
2024	Febrero	13 560	2 136	4 020	90
	Marzo	9 990	2 960	2 960	90
	Abril	10 220	1 999	2 890	90
	Junio	11 219	2 222	3 780	90
	Agosto	13 590	2 010	2 360	90
Donde:					
EAHFP: Energia Activa en horas fuera de punta					
EAHP: Energia Activa en horas punta					
Erl: Energia reactiva leída					
PAGU: Potencia activa de generación de usuarios					

### Facturación de Consumos de Energía 2023-2024

Cargo Fijo(S/)	Cargo EAHFP (S/)	Cargo EAHFP(S/)	Cargo PAGU(S/)	Cargo PARDU(S/)	Total (S/)
10,79	3636,54	284,84	3367,80	1299,60	10147,49
10,79	3540,42	432,34	3367,80	1299,60	10208,13
10,79	1500,54	324,26	3367,80	1299,60	7673,53
10,79	3300,12	961,65	3367,80	1299,60	10549,15
10,79	3075,84	920,00	3367,80	1299,60	10235,36
10,79	3353,52	619,91	3367,80	1299,60	10208,91
10,79	3620,52	679,03	3367,80	1299,60	10593,74
10,79	2667,33	940,98	3367,80	1299,60	9778,07
10,79	2728,74	635,48	3367,80	1299,60	9490,05
10,79	2995,47	706,37	3367,80	1299,60	9888,44
10,79	3628,53	638,98	3367,80	1299,60	10555,92

Donde:

Los precios se actualizaron a setiembre 2024 en zona de concesión Hidrandina-Chimbote

El costo unitario de EAHFP es 0,267S/./kWh

El costo unitario de EAHFP es 0,3179 S/./kWh

No se cobra Energía reactiva facturada porque el factor de potencia es 0,956 cada mes

El Grado de calificación es menor a 0,5 por lo tanto esta calificado como Presente en Horas Fuera de Punta

El Precio de la PAGU es 37,42 S/./kW Y se toma 90 KW como la máxima demanda del mes

El precio de PARDU es 14,44 S/./kW y la potencia variable toma en cuenta el valor de 90 kW

*Nota.* Elaboracion propia.

## Anexo 10: Email de Huella de Carbono-Perú

The screenshot shows an Outlook email interface. The email is from Huella de Carbono Perú and is titled "Huella de Carbono Perú consumo eléctrico 2023 y listado empresas verificadoras (4/4)". The main content of the email includes:

Estimadas organizaciones usuarias,  
 Sirva la presente para saludarlas y a la vez compartir la siguiente información:  
 1. El **listado** de **empresas** de **consumo** **eléctrico** correspondiente al año 2023, cuyo valor se preliminar ya que su examen a la espera de la publicación oficial de la estadística 2023 COE.

CEI	CCO	CIM	IND	TOTAL
<b>Verificación</b>	<b>COE/MWh</b>	<b>CHAM/MWh</b>	<b>IND/MWh</b>	<b>COE/MWh</b>
<b>2023</b>	0.213001882	0.000010400	0.000000288	<b>0.213012570</b>

2. Es importante señalar que este **listado** considera el porcentaje **de** **partidas** por Transmisión y Distribución correspondiente y ya se encuentra disponible en la plataforma, siendo posible reportar el periodo 2023. Para aquellas organizaciones que han cargado el RMA sobre consumo eléctrico, **de** **calificar** **numéricamente** el **archivo** para que puedan generar su **reporte**.

3. El **simulador** **de** **calculo** **de** **la** **plataforma** **actualizada**, el cual adjuntamos como hoja **de** **calculo**.

4. El **listado** **de** **las** **diez** **empresas** **verificadoras** **de** **medición** **de** **huella** **de** **carbono** que participan en la Huella de Carbono Perú, el cual adjuntamos como documento PDF. Estas empresas verificadoras estarán próximamente en la plataforma digital.

Quedamos atentos a cualquier consulta.  
 Saludos cordiales.

**Huella de Carbono Perú**  
 T: (+51) 911 66000 | Móvil: +51 994 444 444  
 D: P.O. Alfonso Micoqueada 425, Magdalena, Mat. Lima, Perú  
 @huella\_carbono\_peru | #huella\_carbono\_peru

Anexo 11. Presupuesto para Inversión

Item	Descripción	Und.	Metrado	P.U (S/.)	Subtotal(S/.)
<b>1</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				7700,00
<b>1,01</b>	Trazo y replanteo topografico	und	1	500,00	500,00
<b>1,02</b>	Adecuacion del terreno	und	1	1200,00	1200,00
<b>1,03</b>	Transporte de materiales	glb	1	6,000,00	6000,00
<b>2</b>	<b>SUMINISTRO DE EQUIPOS</b>				149350,00
<b>2,01</b>	Compresor LS90S y accesorios	glb	1	76000,00	76000,00
<b>2,02</b>	Tanque de aire 5000 litros KAESER	glb	1	21000,00	21000,00
<b>2,03</b>	Unidades de mantenimiento para areas	und	10	1200,00	12000,00
<b>2,04</b>	Valvuleria	glb	1	9500,00	9500,00
<b>2,05</b>	Tuberias para aire comprimido	und	25	850,00	21250,00
<b>2,06</b>	Accesorios (uniones , codos)	glb	1	7500,00	7500,00
<b>2,07</b>	Instrumentacion (manometros)	glb	1	2100,00	2100,00
<b>3</b>	<b>OBRAS CIVILES</b>				34000,00
<b>3,01</b>	Excavacion de zanjas en terreno normal	m3	10	250,00	2500,00
<b>3,02</b>	Cimentacion estructuras	cjto	1	8,500,00	8500,00
<b>3,03</b>	Piso vaciado	cjto	1	5,500,00	5500,00
<b>3,04</b>	Columnas y vigas	cjto	1	8,600,00	8600,00
<b>3,05</b>	Paredes	cjto	1	8,800,00	8800,00
<b>3,06</b>	Acabados	cjto	1	8,900,00	8900,00
<b>4</b>	<b>INSTALACIONES MECANICAS ELECTRICAS</b>				31300,00
<b>4,01</b>	Instalacion de compresor	cjto	1	4500,00	4500,00
<b>4,02</b>	Componentes de casa de generacion de aire	cjto	1	4800,00	4800,00
<b>4,03</b>	Soporte de redes	cjto	1	5000,00	5000,00
<b>4,04</b>	Instalacion y montaje de redes de aire	cjto	1	7500,00	7500,00
<b>4,05</b>	Instalaciones electricas (incluye componentes)	cjto	1	9500,00	9500,00
<b>5</b>	<b>PRUEBAS Y ENSAYOS</b>				9500,00
<b>5,01</b>	Prueba hidrostatica	und	1	3500,00	3500,00
<b>5,02</b>	Pruebas de arranque de compresor	und	1	2500,00	2500,00
<b>5,03</b>	Protocolo de hermeticidad	und	1	3500,00	3500,00
<b>6</b>	<b>SUBTOTAL ACTIVIDADES</b>				31435,00
<b>6,01</b>	Supervision externa	und	1	7500,0	7500,00
<b>6,02</b>	Gastos generales 10%	und	1	23935,0	23935,00
<b>7</b>	<b>SUBTOTAL OBRA</b>				263285,00
<b>8</b>	<b>IGV</b>				47391,3
<b>9</b>	<b>TOTAL</b>				310676,30

Nota. Elaboracion propia

Anexo 12: Presupuesto OPEX

Presupuesto OPEX					
1	Operación	Detalle	Unidad	Subtotal	Total
1,1	Mano de Obra (25% de su tiempo)	Sueldo (S/)	0,25	2400	600
2	Mantenimiento	Detalle	Unidad	Subtotal	Total
2,1	Revisión interna de compresor	Servicio	1	1800	1800
2,2	Cambio de Aceite	Galones	2	120	240
2,3	Cambio de Filtros de aire	Unidad	2	180	360
2,4	Revisión de U.Mantenimiento	Servicio	1	1200	1200
2,5	Revisión eléctrica	Servicio	1	1200	1200
Subtotal (S/)					5400

*Nota.* Elaboración propia

## Anexo 13: Costos unitarios Zona de Concesion Chimbote Octubre 2024

**Empresa:** Hidrandina

Pliego: CHIMBOTE      Vigencia: 4/Oct/2024      Sector: 2      Interconexion: SEIN

MEDIAS TENSIÓN		UNIDAD	TARIFA
			Sin IGV
<b>TARIFA MT2</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S//mes	11.17
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S//kW.h	31.79
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S//kW.h	26.70
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S//kW-mes	66.73
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S//kW-mes	13.20
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S//kW-mes	14.52
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S//kVar.h	4.82
<b>TARIFA MT3</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S//mes	10.79
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S//kW.h	31.79
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S//kW.h	26.70
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S//kW-mes	59.51
	Presentes Fuera de Punta	S//kW-mes	37.42
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S//kW-mes	14.40
	Presentes Fuera de Punta	S//kW-mes	14.44
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S//kVar.h	4.82
<b>TARIFA MT4</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA</b>		

<https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegoTarifario?Id=20000>

Anexo 14: Facturación acumulada de energía eléctrica operando con motocompresores.

Año	Mes	Energía Eléctrica (kWh)	Potencia Eléctrica (kW)	Facturación EA (S/)	Facturación Potencia Activa de Generación de Usuarios (S/)	Facturación Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios (S/)	Total mensual (S/)
2022	Agosto	5121	32,5	1367,31	1846,33	442,98	4314,80
	Setiembre	6189	37,8	1652,46	2147,42	515,21	5091,81
	Octubre	5845	38,9	1560,62	2209,91	530,21	5074,86
	Noviembre	5988	38,9	1598,80	2209,91	530,21	5119,92
	Diciembre	5784	40,1	1544,33	2278,08	546,56	5155,39
2023	Enero	6120	37,5	1634,04	2130,38	511,13	5045,14
	Febrero	5414	39,5	1445,54	2244,00	538,39	4988,94
	Marzo	5830	39,9	1556,61	2266,72	543,84	5153,26
	Abril	5690	40,1	1519,23	2278,08	546,56	5125,77
La Facturación está basada en la Tarifa MT4 calificación mensual de los Astilleros, teniendo en cuenta las Áreas de Administración, Mantenimiento y reparaciones, seguridad, calidad y servicios generales.							
Los costos por facturación incluyen:							
Facturación por Energía Activa = Energía Eléctrica (kWh) * 0,267 S/./kWh							
Facturación por Potencia Activa de Generación de Usuarios = Potencia eléctrica * 56,81							
Facturación por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios = Potencia eléctrica * 13,63							
Total mensual = 1,18 * (Facturación de Energía Activa + Facturación de Potencia Activa de Generación de Usuarios + Facturación de Potencia Activa de redes de distribución para usuarios)							

Nota. Elaboración propia

Anexo 15: Facturación acumulada de energía eléctrica operando con electrocompresores.

Consumos de Energía acumulada 2023-2024

Año	Mes	Energía			Potencia
		EAHFP (kWh)	EAHP (kWh)	Erl (kVARh)	PAGU(kW)
2023	Junio	18420	996	3020	125
	Julio	18336	1452	2639	124,5
	Agosto	10020	1152	1203	122,5
	Octubre	17852	3125	3560	121,6
	Noviembre	16235	2989	3956	120,6
	Diciembre	16988	2150	3330	124,6
2024	Febrero	18751	2196	4020	124
	Marzo	14569	3062	2960	121,9
	Abril	16845	2123	2890	125,8
	Junio	17845	2352	3780	120,8
	Agosto	18952	2210	2360	121,5
Donde:					
EAHFP : Energía Activa en horas fuera de punta					
EAHP: Energía Activa en horas punta					
Erl: Energía reactiva leída					
PAGU: Potencia activa de generación de usuarios					

### Facturación acumulada de Consumos de Energia 2023-2024

Año	Mes	Cargo Fijo(S/)	Cargo EAHFP (S/)	Cargo EAHP(S/)	Cargo PAGU(S/)	Cargo PARDU(S/)	Total (S/)
2023	Junio	10,79	4918,14	316,63	4677,50	1299,60	13242,74
	Julio	10,79	4895,71	461,59	4658,79	1299,60	13365,25
	Agosto	10,79	2675,34	366,22	4583,95	1299,60	10544,36
	Octubre	10,79	4766,48	993,44	4550,27	1299,60	13712,29
	Noviembre	10,79	4334,75	950,20	4512,85	1299,60	13107,66
	Diciembre	10,79	4535,80	683,49	4662,53	1299,60	13206,80
2024	Febrero	10,79	5006,52	698,11	4640,08	1299,60	13753,01
	Marzo	10,79	3889,92	973,41	4561,50	1299,60	12667,56
	Abril	10,79	4497,62	674,90	4707,44	1299,60	13204,60
	Junio	10,79	4764,62	747,70	4520,34	1299,60	13384,79
	Agosto	10,79	5060,18	702,56	4546,53	1299,60	13711,20
Donde:							
Los precios se actualizaron a setiembre 2024 en zona de concesion Hidrandina-Chimbote							
El costo unitario de EAHFP es 0,2675\$/kWh							
El costo unitario de EAHP es 0,3179 S/./kWh							
No se cobra Energia reactiva facturada porque el factor de potencia es 0,956 cada mes							
El Grado de calificaion es menor a 0,5 por lo tanto esta calificado como Presente en Horas Fuera de Punta							
El Precio de la PAGU es 37,42 S/./kW Y se toma 90 KW como la maxima demanda del mes							
El precio de PARDU es 14,44 S/./kW y la potencia variable toma en cuenta el valor de 90 kW							

*Nota.* Elaboracion propia.