



MEMORIA TÉCNICA DEL PROYECTO TITULADO:

“Aprovechamiento Energético en un sistema de aire comprimido”

que presentan:

Balmori Hamue Pedro José

Jasso Juárez Annya Monserrat

Ángeles Rojas Hector Ariel

Valencia Quiroz Jessica

Guadarrama Espinosa Melissa Denisse

Estudiantes de 5 semestre de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería en Energía e Ingeniería en Diseño Industrial de la Universidad Mondragón México, como parte del proceso de Evaluación del Proyecto Fin de Semestre.

El Marqués, Querétaro, noviembre del 2020.

Índice del contenido.

1.	Introducción.....	2
2.	Propuesta de trabajo.....	3
3.	Diagnóstico y justificación.....	4
3.1	Fugas	4
3.2	Pérdidas operativas.....	4
3.3	Restricciones	5
3.4	Sistemas de aire comprimido.....	5
3.5	Riesgos.....	8
3.6	Tarifa eléctrica.....	10
4.	Ideación y desarrollo conceptual.....	12
4.1	Descubrir	12
	Usos y aplicaciones:	15
4.2	Definir.....	16
	Fase de análisis.....	16
	Fugas y compresores.....	16
4.3	Desarrollar.....	17
4.4	Entregar.....	18
	Fase de implementación	18
	4.5.1 Gabinete de control de encendido y apagado	18
5.	Memoria descriptiva.....	19
5.1	Objetivos tecnológicos:.....	19
5.2	Descripción técnica:	19
6.	Plan de fabricación.....	20
6.1	Gabinete de control de encendido y apagado automático.....	20
7.	Lista de piezas, materiales y herramientas.....	22
8.	Planos.....	24
9.	Cálculos técnicos	25
9.2	Perdidas de fricción.....	26
10.	Presupuesto	28
11.	Pruebas.....	29
14.1	Cálculo de fugas.....	29

14.2	Comprobación de gastos de caída de presión.	30
14.3	FluidSim	30
14.4	MultiSim	31
12.	Problemas encontrados y solución adoptada.....	32
13.	Resultados y conclusiones.....	33
14.	Valoración del proyecto.	33
15.	Anexo.....	34
16.	Bibliografía	34

Resumen.

El equipo EDISON desarrollo el proyecto final de semestre en conjunto con Marathon Systems control, una empresa ubicada en Querétaro que se dedica al control y mantenimiento de hornos de tratamiento térmico. MSC, cuenta con un sistema de aire comprimido alimentado por un motor KAESER SM-10; trabajamos en conjunto con nuestro beneficiario para analizar su sistema de aire comprimido y encontrar los posibles ahorros que se podían generar en este.

Nos encontramos con diversas problemáticas, entre ellas, picos energéticos por el constante encendido y apagado del compresor, así como fugas en las tuberías, que sugieren un gran desperdicio energético. El equipo se propuso analizar el sistema para conocer los posibles ahorros a partir de la reparación de las fugas en las tuberías. Además de esto se decidió implementar un sistema que automatizara el encendido y apagado del motor de un compresor, para que este solo operara durante el día. Este sistema de encendido y apagado consta de un gabinete de control con tres opciones de funcionamiento. La interfaz entre el gabinete y el usuario es un selector de tres posiciones que te permite elegir entre las 3 opciones de funcionamiento.

Abstract

The EDISON team developed the final project of this semester with the collaboration of Marathon Systems Control, company located in Queretaro which it is dedicated to the control and maintenance of heat treatment furnaces. MSC has an air compressor system fed by a motor KAESER SM-10; We work together with our beneficiary to analyze his air compress system and find the possible savings that can be generated.

We had several problematics, some of them were energy peaks caused by the constant on and off of the compressor, same as the leaks on the pipelines which come up with a big energetic waste. The team proposed to analyze the system to know the possible savings through the repair of the leaks on the pipelines. We also decided to implement the automatized on and off system to the compressor's motor, making it work just on the day. This on and off system contains a control cabinet with three function options. The interface between the cabinet and the user is a three positions selector, which allows the user to choose between these three function options

1. Introducción.

El objetivo de este proyecto es el poder reducir el gasto energético generado por el compresor en la empresa, mediante el análisis del sistema actual, calcular su gasto energético actual y realizar los cambios necesarios para reducir los gastos. De igual forma se busca rediseñar el sistema agregando una mayor eficiencia en las tuberías, válvulas y evitar pérdidas de presión y realizar los cambios necesarios en el sistema para así reducir su gasto.

Nuestros Indicadores de éxito son:

- Eliminar hasta un 80% las fugas.
- Generar un ahorro significativo en el gasto energético de la empresa.

El proyecto está destinado a realizarse de acuerdo con lo que se permita por el gobierno estatal de acuerdo con el semáforo de COVID-19, lo cual podría ser en las instalaciones de la Universidad Mondragón México, mediante el uso de sus laboratorios o de forma virtual con ayuda de diversos softwares de simulación y diseño.

En cuanto a la propuesta de trabajo, el diagnóstico y justificación del proyecto, la ideación, los planes de fabricación materiales, planos y modelo 3D, así como los cálculos, presupuesto y resultados y pruebas del prototipo se podrán ver y trabajar más a fondo en sus debidos apartados del documento.

2. Propuesta de trabajo.

La propuesta de trabajo a realizar es automatizar el encendido y apagado del motor del compresor, de modo que este solo trabaje por la noche; así como calcular los posibles ahorros energéticos que tiene el sistema de aire comprimido.

Por otra parte, se tiene la materia líder, la cual es Neumática e Hidráulica donde se explicará de forma concreta y eficiente la automatización e innovación del sistema, el análisis costo-beneficio y el cual se apoyará en los cálculos, ya que hay fórmulas para obtener el ahorro de costos y energía de lo relacionado al proyecto. Todo esto mediante diversos recursos visuales y diversos análisis que determinen los beneficios en el sistema. Además, que la materia líder es fundamental en el desarrollo del proyecto, ya que se está trabajando con aire comprimido y es parte de los conceptos revisados en la materia.

Respecto a la materia de Elasticidad y Resistencia de Materiales se observa que para la adaptación de este sistema de encendido y apagado no es necesario realizar cálculos de esfuerzo para las tuberías, debido a que las tuberías Conduit tienen un alto índice de seguridad, y el tipo de operación que realizan es únicamente la protección de los cables de conexión.

En cuanto a Calidad, seguridad y medio ambiente, se harán las documentaciones pertinentes de los diferentes sistemas y la matriz integradora.

Para Tecnologías en Electrónica Avanzada, se seleccionarán diversos sensores que puedan traer beneficios al sistema, así como la automatización del sistema con uso de lógica booleana, una opción sencilla que se ajusto al presupuesto y solicitud del beneficiario. También se realizará el diagrama para el gabinete de control

Los requisitos propuestos en Ingeniería de Procesos que serán llevados a cabo son la estimación de costos de los componentes principales y el diagramar los procesos presentes en el sistema, mediante apoyo visual.

Respecto a Tecnologías de Fabricación se busca proponer el flujo de proceso económicamente viable de los componentes, mediante un análisis de costos. Se realizo un análisis de las tarifas de electricidad que se le cobran a la empresa del beneficiario.

En Ingeniería de Control se buscará identificar las variables de control en el sistema, así como la adaptación de un sensor para controlar el encendido y apagado.

Para Automatización Avanzada se hará la selección de sensores.

En la materia de Conversión de Energía se realizará un balance de materia y energía, así como el análisis del ciclo de potencia y se sustentará con los debidos cálculos.

Para Ciclos de generación termoflúidica se reconocerán las diferentes variables termodinámicas y se buscará conocer los principios de refrigeración, bombas de calor y la medida de su desempeño mediante una exhaustiva investigación.

Para Metodología del Diseño 2 y Diseño y Producto se buscará aplicar un diseño más sustentable y un pensamiento sistémico en la solución del problema y finalmente, para Diseño Asistido por Computador, se realizará el disco con ensamble en un software de diseño.

3. Diagnóstico y justificación.

Se diagnosticó que nuestro beneficiario cuenta con diversas fugas de aire en su sistema de aire comprimido, se tiene un gran pico energético en cuanto al gasto de electricidad y eso mismo provoca un excesivo gasto monetario para solventar este servicio.

3.1 Fugas

Las fugas son uno de los problemas más comunes de los compresores en la industria, ya que representan de un 20% a un 30% de la capacidad de los compresores instalados y al no tener un encargado de mantenimiento, esto se traduce en una pérdida energética muy alta para la empresa.

3.2 Pérdidas operativas

Las fugas se consideran pérdidas energéticas, pues en estas el aire escapa a la atmósfera sin general trabajo alguno, el cual puede ser utilizado para fines productivos.

Mientras más fugas halla en el sistema, desciende por lo que se requiere subir la presión en la operación de trabajo de los compresores, lo que hace que escape mayor cantidad de flujo de aire. A continuación, se muestra una tabla de gasto brindada por la marca KAESER (productora del compresor con el que vamos a

Presión en psig	Consumo de aire en cfm	Costo anual en USD
60	16	\$2,288
90	23	\$3,289
100	26	\$3,718

(Costos a 6500h de trabajo, \$0.11USD/KWh y una potencia específica de 20KW/100cfm)

Tabla 1.- Costos y consumo de aire a diferentes presiones de un orificio de 3mm. trabajar).



Figura 1: Compresor KAESER del beneficiario.



Figura 2: Tubería principal del aire comprimido

3.3 Restricciones

Las restricciones encontradas en la elaboración del proyecto son:

- Tiempo de Elaboración: Debido a que únicamente contamos con un semestre para la elaboración del proyecto.
- Pandemia: Debido a que seguimos en un semáforo epidemiológico que impide la totalidad de las actividades, solo una persona puede tener contacto directo con el beneficiario.
- Presupuesto: Debido a que no contamos con un gran presupuesto, se deben buscar materiales y componentes a un precio accesible.

3.4 Sistemas de aire comprimido.

De acuerdo con la investigación realizada y recabada de Çengel, Y., & Boles, M. (2015). Termodinámica (8a. ed.). McGraw-Hill Interamericana se tiene la siguiente información:

El aire comprimido a presiones manométricas de 550 a 1 000 kPa se usa en la industria para gran variedad de labores (limpieza, equipos neumáticos, refrigeración, etc.).

Los compresores operan en el rango de unos cuantos caballos de fuerza hasta más de 10 000 hp según su tamaño y llegan a ser de los equipos de mayor consumo de energía.

El costo de la electricidad para operar durante un año un compresor puede exceder el precio de compra del mismo compresor. Esto sucede en especial con compresores grandes que están activos durante dos o tres turnos.

De igual forma, se tienen las siguientes fórmulas para la obtención de los ahorros de energía y los ahorros de costos:

- Ahorros de energía = (potencia ahorrada) / (horas de operación) / η_{motor}

η_{motor} = eficiencia del motor

- Ahorros de costos = (ahorros de energía) (costo unitario de energía)

Varios estudios han revelado que 40% del aire comprimido se pierde a través de las fugas, y eliminarlas es bastante impráctico, por lo que una proporción de fuga de 10% es considerada aceptable.

En general, las fugas de aire ocurren en juntas, conexiones con bridas, codos, reductores, expansiones súbitas, sistemas de válvulas, filtros, mangueras, válvulas de no retorno, válvulas de alivio, extensiones y equipos conectados al aire comprimido.

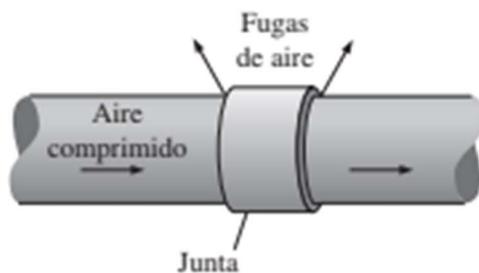


Figura 3: Ilustración de una fuga de aire comprimido. Obtenida de: Çengel, Y., & Boles, M. (2015). Termodinámica (8a. ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Las tres formas más comunes para la detección de fugas son:

- Escucharla: La alta velocidad del escape de aire produce un sonido difícil de ignorar, excepto si se tiene en ambientes de altos niveles de ruido.

- Utilizar jabón en las zonas sospechosas, aunque es poco práctico para un sistema grande.
- Por ultrasonido, para este se suele usar un detector acústico, el cual consiste en un micrófono direccional, amplificadores, filtros de audio e indicadores digitales.

Para cuantificar las fugas se suele usar una prueba de caída de presión. Para esto se detienen todas las operaciones que usan aire comprimido y se cierran todos los compresores y válvulas de presión, así las fugas se irán acumulando, hasta que se pueda medir con precisión la cantidad.

También se sabe que la gran mayoría de los compresores utiliza un motor eléctrico, sin embargo, Los motores eléctricos no pueden convertir completamente la energía eléctrica que consumen en energía mecánica.

Por otra parte, una de las razones por las cuales el compresor llega a consumir demasiada energía es debido a que las empresas suelen utilizar compresores sobre especificados que trabajan intermitentemente a carga completa o a carga parcial. Cuando se trabaja a carga parcial baja la eficiencia del motor y eso provoca el alto consumo de energía.

En cuanto a la succión de los compresores se tiene que estos normalmente al localizarse dentro de las instalaciones o en resguardos adyacentes succionar el aire del interior del edificio.

Sin embargo, es aconsejable que se succione el aire del exterior mediante ductos. Esto logrará reducir el consumo de energía del compresor porque toma menos energía comprimir cierta cantidad de aire frío que esa misma cantidad en aire caliente.

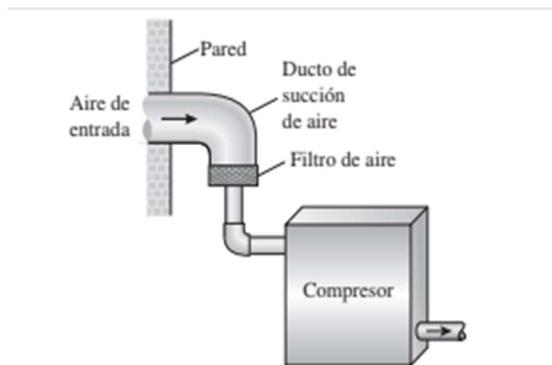


Figura 4: Ilustración de un ducto al exterior para la succión de aire comprimido. Obtenida de: Çengel, Y., & Boles, M. (2015). Termodinámica (8a. ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Por lo tanto, lo recabado anteriormente está ligado a la justificación del proyecto debido a que se busca impulsar a la empresa a generar un ahorro energético logrando minimizar las fugas generadas por las caídas de presión.

Se puede concluir de la investigación que el aire comprimido es algo fundamental en la industria actualmente, sin embargo las empresas no han volteado a ver los grandes gastos (energético y monetario) que generan los compresores y a las diversas alternativas que se pueden desarrollar para aprovechar las grandes pérdidas de aire debido a las fugas y todo esto es lo que se busca lograr con el beneficiario y su sistema de aire comprimido, para que la empresa pueda reducir en un 80% las fugas y aprovechar lo que se pierde en ellas en diversas actividades y sobre todo reducir de manera significativa los costos.

3.5 Riesgos

Durante el transcurso del proyecto nos dimos cuenta de que hay varios factores que afectan nuestra salud y que también tienen un impacto ambiental, estos factores van de manera negativa y se dividen en psicológicos, físicos, biológicos, equipo de seguridad y ambientales. Dentro de nuestro proyecto los factores negativos van dentro de los riesgos psicológicos, físicos, equipo de seguridad y ambientales.



Figura 5: Riesgos, equipo de seguridad y físicos.

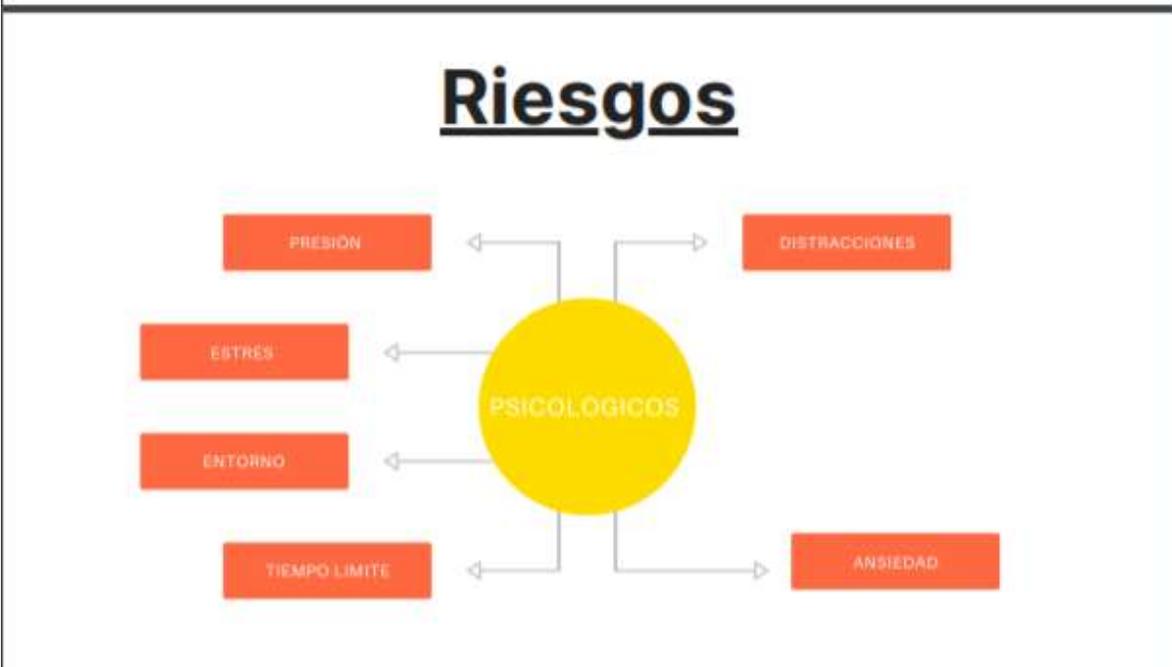


Figura 6: Riesgos, psicológicos.



Figura 7: Riesgos, impacto ambiental.

3.6 Tarifa eléctrica

Tarifa GDMTO o Gran Demanda en Media Tensión Ordinaria, es la que la empresa maneja ante CFE es decir que con respecto a la ubicación de tu empresa define el precio por la energía

La tarifa de GDMTO está destinada para empresas con una demanda menor a los 100 kilowatts al mes, esta es una tarifa mensual la empresa paga aproximadamente \$8,000 a \$10,000 pesos mexicanos mensuales al igual la ventaja de esta tarifa es que la GDMTO tiene un mismo costo por la energía durante las 24 horas del día, hay otra tarifa (GDMTH Gran Demanda en Media Tensión Horaria) que en cada cierto horario tiene un costo distinto

Anteriormente existían 8 regiones tarifarias en México, en el nuevo esquema la CRE determinó 17 divisiones tarifarias a partir de la estructura de la red eléctrica de CFE. Esto quiere decir que no dependen de las fronteras estatales, sino de la red eléctrica.

Por ejemplo, los estados de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas corresponden a la división del Golfo Norte. También es posible que existan diversas divisiones tarifarias en el mismo estado, como la Ciudad de México que cuenta con 3 divisiones: Valle Norte, Valle Centro y Valle Sur.



Figura 8: Divisiones tarifarias México

Esta es el costo del KWh en el mes de agosto para la región de Querétaro específicamente del municipio del Marques (Ref; <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaMTO.aspx>)

1.- Aplicación

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kW

2.- Cuotas aplicables en el mes de

NOVIEMBRE ▼

de 2020.

2.1 Identifica tu región tarifaria

QUERÉTARO ▼
EL MARQUES ▼
BAJÍO ▼

Bajío

Tarifa	Descripción	Cargo	Unidades	NOV-20
GDMTO	Gran demanda en media tensión ordinaria	Fijo	\$/mes	464.57
		Variable (Energía)	\$/kWh	1.271
		Distribución	\$/kW	95.87
		Capacidad	\$/kW	273.48

Figura 9: Tarifa GDMTO

Hay un apartado en su recibo de la luz el cual habla dice “Demanda máxima medida”

Las demandas máximas medidas en los distintos periodos se determinarán mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kilowatts, durante cualquier intervalo de 15 minutos del periodo en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo correspondiente, cualquier fracción de kilowatt de demanda medida se tomará como kilowatt completo.

Cuando la demanda máxima medida sea igual o exceda de 100 kilowatts, el usuario deberá solicitar al suministrador su incorporación a la tarifa GDMTH. De no hacerlo, al tercer mes consecutivo en que exceda la demanda de 100 kilowatts, será reclasificado por el suministrador en la tarifa GDMTH, notificando al usuario.

Estos son otros apartados que encontramos en su recibo

1. Suministro: Es el cargo fijo que el Suministrador Básico, en este caso CFE, realiza por sus costos de operación.
2. Distribución: Es el costo por distribuir la energía eléctrica a través de la infraestructura de CFE a tu empresa.
3. Transmisión: Es el costo por el traslado de energía eléctrica desde las plantas de generación hacia las redes de distribución.
4. CENACE: Es el cargo que realiza el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), esta asociación se encarga de administrar la energía eléctrica en el mercado.
5. Capacidad: Es el costo de la demanda, es decir, cuánta energía demanda tu carga máxima instalada.

6. SCmMEM: El costo por los Servicios Conexos no incluidos en el Mercado Eléctrico Mayorista representa lo que tu empresa está pagando por la confiabilidad, continuidad y calidad de la energía. Como la regulación de frecuencia y voltaje o el arranque de emergencia.

Las ventajas que tiene la empresa es que no usan una mayor cantidad de Kilowatt-hora al mes y esto les ayuda a aun estar en una tarifa con un precio fijo.

Con ayuda del rediseño de las tuberías para el compresor hará que disminuya el gasto energético que genera la empresa mes a mes, otra opción que se le da a la empresa es implementar el uso de energías renovables para poder hacer aun un menor gasto eléctrico, una opción viable es el uso de paneles solares, estos podrían ayudar a reducir hasta un 45 o 50% el uso de energía de CFE y así bajar su gasto mes a mes.

4. Ideación y desarrollo conceptual.

Modelo Doble Diamante

4.1 Descubrir

Fase de investigacion

- **Diagnostico de la problemática**

Problema: “FUGAS DE AIRE EN LAS VALVULAS DE UN COMPRESOR”

- **Investigacion**

Los compresores son un tipo de máquinas cuya función principal es la de hacer aumentar la presión de un gas. Esta herramienta absorbe aire a presión ambiental, a través de un sistema de filtrado y lo devuelve con la presión deseada, bien a una salida directa, o a un calderín, donde se acumulará a mayor presión. El funcionamiento de este sistema es mecánicamente sencillo.

Existen dos tipos principales de compresores, dependiendo de si llevan lubricación o no.

El primero de ellos es el **compresor de aire de paletas en grafito**, que no requiere lubricación y funciona de la siguiente manera:

El aire es introducido por el vacío generado dentro de la cámara que conforman las paletas de grafito, también conocidas como aspas de grafito o álabes de grafito.

Esta cámara, mediante el movimiento del rotor, va encogiendo su volumen a medida que se produce el giro del rotor, aumentando así la presión del aire aprisionado entre las dos aspas o paletas. Una vez comprimido este aire, es liberado a través de la zona de expulsión de la camisa del compresor.



Figura 10: Rotor compresor

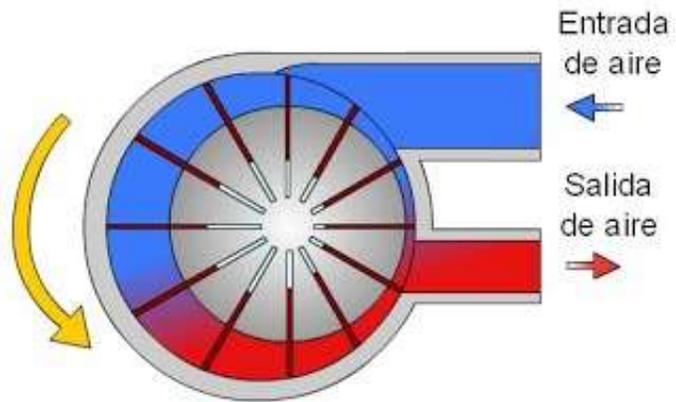


Figura 11: cámara de compresión

El otro tipo principal de compresores de aire es el de paletas de fibra. Utilizado en aplicaciones como el ordeño, se diferencia del compresor de grafito en que sí necesita lubricación.

A nivel de funcionamiento es muy similar. El aire es introducido por el vacío generado dentro de la cámara que conforman las paleta, en este caso de fibra, también conocidas como aspas de fibra o álabes de fibra.

Esta cámara, mediante el movimiento del rotor, va encogiendo su volumen a medida que se produce el giro del rotor, aumentando así la presión del aire aprisionado entre las dos aspas o paletas. Es en esta fase del movimiento donde se produce una lubricación, aportada de forma externa mediante aceite, en un depósito colocado en el propio compresor.

Una vez comprimido este aire, al igual que en el caso del compresor de paletas de grafito, es liberado a través de la zona de expulsión de la camisa del compresor.

Clasificación de los compresores

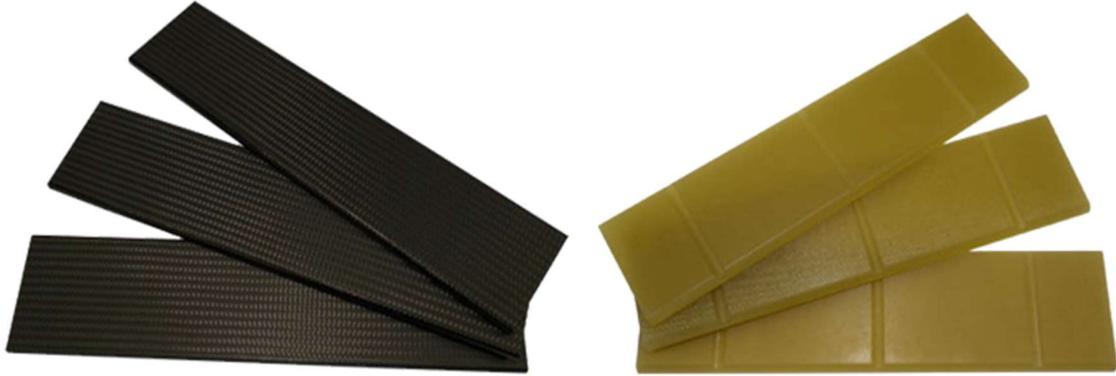


Figura 12: Compresor de inyección de aceite

Usos y aplicaciones:

- Minería
- Farmacéuticas
- Construcción
- Textil
- Vidrieras
- Tequileras
- Química
- Metalúrgica
- Petroquímica



Figura 13: Compresor de doble tapa.



Figura 14: Compresor encapsulado

Usos y aplicaciones:

- Alimentos y Bebidas
- Farmacéuticas
- Laboratorios
- Robótica
- Consultorios dentales
- Tequileras
- Alta calidad de aire para instrumentos



Figura 15: Compresor de tornillo



Figura 16: Compresor scroll

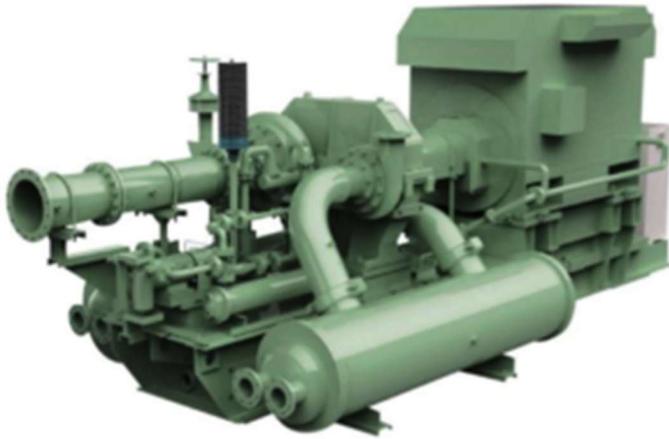


Figura 17: Compresor centrifugo

4.2 Definir

Fase de análisis

Fugas y compresores

Se denominan **fugas de aire** aquellos agujeros en productos o sistemas técnicos que provocan una entrada o salida no deseada de materia sólida, líquida o gaseosa. Ya que las fugas pueden averiar sistemas técnicos completos, contar con un detector de fugas a mano es la forma ideal para la pronta identificación de tales defectos y prevenir así daños mayores resultantes de ellos. Las fugas pueden causar que el sistema no enfría correctamente y se podría averiar, sin contar con los daños al medioambiente y los costes económicos extra que supone semejante desastre.

Figura 4.9: Detección de fugas con labor
En los puntos anteriores se menciona que las fugas pueden ser consideradas como un gasto energético, ya que el aire no se aprovecha y se escapa a la atmosfera, a continuación, presentamos algunas de las consecuencias de este desperdicio energético

a) Costos de Mantenimiento

Los compresores al tratar de mantener la presión establecida por el usuario en un sistema con fugas operan por mayor tiempo, reduciendo los intervalos para

mantenimiento del compresor y de los elementos que integran la parte de tratamiento, incrementando los costos de operación, por lo tanto, el tiempo de servicio se acorta. De igual forma al requerir mantenimiento en intervalos más cortos aumentan los tiempos de paro del equipo para realizar el mantenimiento preventivo y esto se puede convertir en un problema crítico al no contar con un equipo de respaldo.

b) Bajo Rendimiento en Maquinas

Al disminuir la presión por la demanda excesiva de las fugas, las máquinas y herramientas neumáticas se vuelven más lentas, dando como resultado baja productividad o en algunos casos daños en el producto por el mal funcionamiento de la máquina, lo que eleva los costos de producción.

c) Contaminación Auditiva

Para muchas empresas, un plan de detección y corrección de fugas se realiza principalmente por cuestiones económicas, sin embargo, existe una estrecha relación con el ambiente laboral, debido a que los tonos elevados y continuos resultan molestos y dentro de las actividades laborales pueden llegar a disminuir el rendimiento de un trabajador, como lo registran algunos estudios de salud auditiva.

4.3 Desarrollar

Fase de desarrollo de ideas



Figura 18: desarrollo de soluciones fugas

Todas las ideas presentan una solución posible al problema principal sin embargo no son eficientes y no resuelven totalmente el problema por lo cual decidimos hacer un rediseño del sistema de tuberías y agregar unas fotoceldas para así lograr crear un apagado y encendido automático para que de esta forma reducir tanto el gasto energético como el gasto monetario.

4.4 Entregar

Fase de implementación

Al estar terminado el gabinete de control de encendido y apagado este es instalado en el compresor, haciendo análisis de que tan eficiente fue el resultado y así poder generar un ahorro energético y reducir el gasto monetario que se genera por los picos energéticos causados por las fugas.

4.5.1 Gabinete de control de encendido y apagado.

El control de este compresor se realizará mediante un gabinete de control con un selector que permitirá a los usuarios elegir entre tres opciones de encendido y apagado del compresor. En este caso los usuarios son el encargado del taller y los operarios de Marathon Systems control.

- Opciones de encendido y apagado.

Este control se realizará por medio de un selector fijo de 3 posiciones con las opciones:

- OFF
- AUTOMATICO
- MANUAL

- Control del encendido y apagado automático.

- Microcontrolador:
Realizar una programación que permita a partir de temporizadores el encendido y apagado automático del compresor cada 12 horas; Así como la suspensión automática del sistema sí después de cierto tiempo no se perciben caídas de presión.
- Temporizadores analógicos.
Realizar el control del encendido y apagado del compresor a partir de lógica cableada con un temporizador que automáticamente encienda y apague el compresor cada 12 horas.
- Fotocelda.

Realizar el control del encendido y apagado del compresor a partir de lógica cableada con una fotocelda, que apague el compresor cuando oscurezca y lo encienda por la mañana cuando se ilumine.

El equipo se decidió por el uso de una fotocelda, debido a que el beneficiario concluyó que era una de las soluciones más baratas y que ocupaba menos espacio.

5. Memoria descriptiva.

5.1 Objetivos tecnológicos:

- **Reducir fugas:**
Los picos de energía que el compresor demanda para compensar el aire que se escapa se traduce a un gasto energético infructífero y para ello; se harán pruebas de hermeticidad con jabón para la detección de las fugas para luego sellarlas.
- **Sistema de automatizado:**
Dado que hay días en los que el compresor trabaja sin que realice algún trabajo. Se proponen tres opciones de encendido y apagado.
 - Off
 - Manual
 - Automático

Donde el sistema de apagado(automático) se controlará por una fotocelda para que encienda en el día y se apague en las noches.

5.2 Descripción técnica:

Se pensaba aprovechar el calor generado por el compresor y darle una aplicación dentro de la empresa, generando un ahorro de energía. Pero dado que en la industria los calores que se necesitan obtener para que pueda aprovechar bien la empresa necesitan ser demasiado elevados, los cuales no los llega a cubrir el calor por el compresor.

Para esto y, hablando con los asesores del proyecto se dictaminó el ir por la parte de los gastos producidos por los picos de energía que se disparan por las fugas que se generan en las tuberías además del gasto energético y monetario que se hacen los días en los que el compresor se deja encendido. Para esto es que se van a realizar pruebas de hermeticidad con jabón para la detección de las fugas para posteriormente sellarlas; Además de un sistema automatizado para que los operadores de la empresa tengan tres opciones; una de ellas es: Poner una

fotocelda que, por lógica cableada que se encargará de apagar al compresor para que este, en el modo automático, trabaje solo cuando sea de día y se apague automáticamente en la noche.

6. Plan de fabricación.

6.1 Gabinete de control de encendido y apagado automático

1. Preparar el gabinete.
 - 1.1. Primero se realizar todas las ranuras para las interfaces físicas de control y las entradas para conexiones externas del gabinete.
 - 1.1.1. Cortar un agujero circular del $\frac{1}{2}$ " de diámetro centrado al frente del gabinete Schneider de 500x400x200mm. Este agujero servirá para la instalación del selector principal del gabinete.

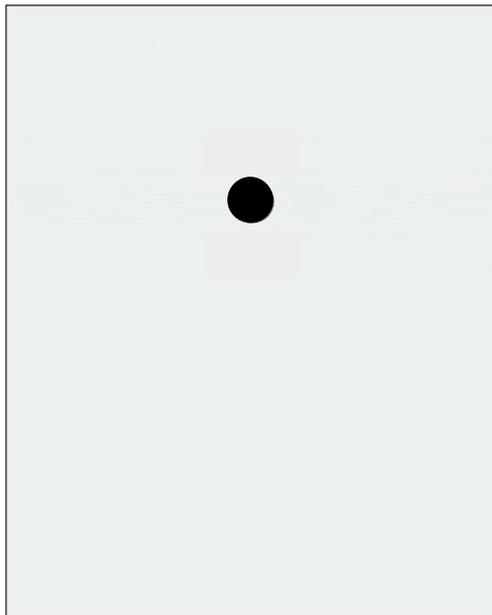
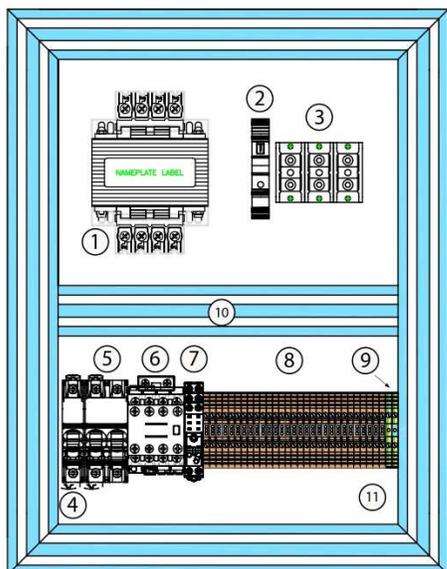


Fig. 19: Gabinete de control.
Agujero para el selector principal.

- 1.1.2. Cortar la ranura para la tubería. El gabinete NSYCRN54200P viene con una tapa separada, realizar una ranura de $2 \frac{1}{2}$ " en la parte inferior izquierda de la tapa para las conexiones a 440V del motor del compresor.
 - 1.2. Colocar los elementos de control en el gabinete.
 - 1.2.1. Insertar y asegurar el selector de 3 posiciones fijas NO Schneider Electric, en el agujero previamente hecho.
2. Preparar la platina.

- 2.1. Hacer los barrenos en la platina para poder colocar posteriormente las canaletas, el riel y el resto de los elementos que se colocaran y en los que se realizara el cableado. Realizar esta operación de acuerdo con el diagrama de distribución de platina.
 - 2.1.1. Marcar los puntos donde nos disponemos a barrenar.
 - 2.1.1.1. Realizar las mediciones pertinentes y marcar con un plumón.
 - 2.1.1.2. Con ayuda de un martillo y un punto de golpe remarcar los puntos para facilitar el proceso de barrenado.
 - 2.1.2. Con una broca de 5/32 y un taladro realizar un barreno en cada uno de los puntos previamente marcados.
 - 2.1.3. Con un machuelo de 3/16 y un taladro, hacer la cuerda en los barrenos que se hicieron para poder introducir un tornillo.
- 2.2. Lijar la platina para deshacernos del galvanizado y pintar con pintura blanca brillante.
- 2.3. Limpiar y colocar riel y canaletas.
 - 2.3.1. Limpiar con un paño de microfibra y espuma limpiadora.
 - 2.3.2. Cortar las canaletas de 4x6cm (ancho x alto) y el riel DIN 3.5x2cm (ancho x alto) de acuerdo con las medidas establecidas en el diagrama de distribución de platina.
 - 2.3.3. Colocar las canaletas y el riel en su posición y asegurarlas con un tornillo Phillips 3/16 Ø y 1/3" de altura y una arandela galvanizada de 1/4" Ø interno y 3/4" Ø externo.
 - 2.3.4. Colocar el transformador y el panel de distribución sujetos directamente a la platina.
 - 2.3.5. Colocar el resto de los elementos de poder y control en el riel. (pastilla termomagnética, relevadores, clemas, etc)
3. Realizar el cableado de los elementos de acuerdo con el diagrama de poder y control.
 - 3.1. Conectar las líneas a 440V con cable negro de Nylon cal. 8
 - 3.2. Conectar vivo a 120V con cable rojo de Nylon cal. 14.
 - 3.3. Conectar neutro a 120V con cable blanco cal. 14.
 - 3.4. Conectar tierra con cable Verde/amarillo cal. 14.
4. Asegurar la platina con los elementos cableados dentro del gabinete con ayuda de los tornillos de sujeción que están soldados al gabinete y utilizar las tuercas y arandelas incluidas en el gabinete para sujetarla bien.
5. Realizar las conexiones a las interfaces físicas de control en el gabinete.
 - 5.1. Conectar el selector de 3 posiciones de acuerdo con el diagrama de poder y control.
6. Hacer la instalación del gabinete de control.
 - 6.1. Colocar en un bastidor cerca del compresor.
 - 6.2. Realizar las conexiones del motor a 440V dentro del compresor.

7. Lista de piezas, materiales y herramientas.



PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	TRANSFORMADOR 650VA 440V-150V
2	CLEMA DE TIERRA 4MM ²
3	BLOQUE DE DISTRIBUCIÓN
4	PASTILLA TERMOMAGNETICA UNIPOLAR 1A
5	PASTILLA TERMOMAGNETICA BIPOLAR 3A
6	CONTACTOR AB
7	RELEVADOR 110V
8	CLEMAS DE DISTRIBUCIÓN
9	CLEMAS DE TIERRA .25MM ²
10	CANALETAS
11	PLATINA Al 500 x An 400

Tabla 2: Componentes de platina

Figura 20: Componentes de platina

LISTA DE MATERIALES				
PART.	NO. CAT.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	9070T350D1	TRANSFORMER, TYPE T, INDUSTRIAL CONTROL, 350 VA, 240/480 VAC PRIMARY / 120 VAC SECONDARY, 1 PHASE, 50/60 HZ, 80 °C RISE	1	Pz
2	9080LBA164101	BLOQUE DE DISTRIBUCIÓN	1	Pz
3	A9F74101	PASTILLA TERMOMAGNETICA UNIPOLAR 1 AMP	1	Pz
4	A9F74203	PASTILLA TERMOMAGNETICA BIPOLAR 3 AMP	1	Pz
5		CONTACTOR AB	1	Pz
6	94.04 SPA	BASE RELEVADOR	1	Pz
7	55.34.8.120.0054	RELEVADOR 110	1	Pz
8	WDU 2.54	CLAMA BEIGE 2.5mm	30	Pz
9	WPE 2.5	CLEMA TIERRA 2.5mm	2	Pz
10	WPE 4	CLEMA DE TIERRA 4mm	1	Pz
11	362 06	LEGRAND LINA 25 CANALETA 40X40MM 2 METROS COLOR AZUL	1	Pz
12	NSYCRN54200P	GABINETE CON PLATINA SCHNEIDER CRN 500X400X200 CON PLACA DE MONTAJE	1	Pz

13	Voltech COFO-LS	Contacto Para Fococelda Solar Con Soporte	1	Pz
14	Volteck SEFO-LS	FOTOCELDA PARA ENCENDIDO Y APAGADO AUTOMATICO	1	Pz
15	XB4BD53	SELECTOR FIJO NO 3 POSICIONES SCHENEIDER ELECTRIC	1	Pz
16		TERNINAL PARA TORRERA AB	1	Pz
17		ELEMENTO LUMINOSO VERDE TORRETA AB	1	Pz
18		ELEMENTO LUMINOSO AMBAR TORRETA AB	1	Pz
19	NA	MULTICABLE 3 PUNTAS	5	m
20	NA	CABLE ROJO NYLON CAL. 14	10	m
21	NA	CABLE NEGRO NYLON CAL. 16	5	m
22	NA	CABLE BLANCO NYLON CAL.14	5	m
23	NA	CABLE VERDE/AMARILLO CAL. 14	5	m
24	NA	CABLE NEGRO CAL. 8	30	m
25	NA	RONDANA GALVANIZADA 3/8" Ø INT 1/2" Ø EXT	50	Pz
26	NA	TORNILLO GALVANIZADO CABEZA PHILIPS 1/4"X3/4"	50	Pz
27	NA	RIEL DIN 4X3X150CM	1	Pz
28	NA	CANALETA 4X6X200CM	1	Pz
29	NA	TUBERIA 1/2" CONDUIT GALAVANIZADO	5	m
30	NA	TUBERIA 2" CONDUIT GALAVANIZADO	6	m
31	NA	CODO 90° 1/2" CONDUIT GALVANIZADO	1	Pz
32	NA	1/2" SERIE 2T CODUIT BODY ALUMINIUM	1	Pz

Tabla 3: Lista de materiales

LISTA DE HERRAMIENTAS	
PART.	DESCRIPCIÓN
1	LIJA 500
2	FLEXOMETRO
3	MARCADOR
4	MARTILLO
5	PUNTO DE GOLPE
6	TALADRO
7	BROCA ACERO 5/32"
8	MACHUELO 3/16"
9	MANERAL PARA MACHUELO

10	LLAVE MATRACA
11	MANGO MATRACA
12	DADO PARA MATRACA 1/4"
13	SACABOCADOS DADO 1/2"
14	MINIPULIDOR
15	DISCO DE CORTE PARA MINI PULIDOR
16	DESARMADOR CRUZ
17	DESARMADOR PLANO
18	PINZAS DE CORTE
19	PINZAS CLAM
20	PINZAS PELACABLE
21	CLEMERO CRUZ
22	CLEMERO PLANO
23	ESCUADRA
24	JUEGO DE LLAVES COMBINADAS
25	JUEGO DE BROCAS PARA CONCRETO
26	DOBLADORA DE TUBOS MANUAL

Tabla 4: Lista de herramientas

8. Planos.

Lista de planos anexos	
1	PODER Y CONTROL ENCENDIDO Y APAGADO AUTOMATICO
2	DISTRIBUCIÓN DE PLATINA
3	DISTRIBUCIÓN DEL GABINETE
4	VISTAS DEL GABINETE

Tabla 4: Lista de planos anexos

Se anexan los planos en PDF

9. Cálculos técnicos

9.1 Caída de presión

DATOS			
Diametro tubería	1/2 "	0.0127	m
Diámetro de salida	1.5 mm	0.0015	m
Longitud Tubería		29	m
Gravedad		9.81	m/s ²
Potencia	10 HP	7,457	Watts
P1		844.608	Kpa
P2		101.3	Kpa
V1		1.71	m/s
V2		122.61	m/s
Área 1		0.002027	m ²
Área 2		1.77x10 ⁻⁶	m ²
Flujo Volumétrico		0.013	m ³ /s
Densidad 1 (aire)		8.412	kg/m ³
Densidad 2(aire)		1.184	kg/m ³
Viscosidad Dinámica		1.76x10 ⁻⁵	kg/ms
Volumen		0.268	m ³
Tiempo		8 minutos con 50 segundos	
pi		3.1416	

$$h1 + \frac{V1^2}{2g} + \frac{P1}{\rho} + hb = h2 + \frac{V2^2}{2g} + \frac{P2}{\rho} + hturbina + hl$$

Despejamos HL

$$hl = \frac{V^2}{2g} \left[f \frac{L}{D} + \epsilon Kc + \epsilon Kv \right]$$

$$V1 = \frac{0.013 \text{ m}^3/\text{s}}{(60\pi)(0.0127\text{m}/2)^2} = \frac{0.013}{7.60\text{E}-03} = 1.71 \text{ m/s}$$

$$V2 = \frac{0.013\text{m}^3/\text{s}}{(60\pi)(0.0015\text{m}/2)^2} = \frac{0.013}{0.000106029} = 122.61 \text{ m/s}$$

$$\frac{844.608\text{Kpa}}{(8.412 \text{ kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)} + \frac{(1.71\text{m/s})^2}{2(9.81\text{m/s}^2)} + Hb + Z1 = \frac{101.3\text{Kpa}}{(1.184 \text{ kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)} + \frac{(122.61\text{m/s})^2}{2(9.81\text{m/s}^2)} + Z2 + HL$$

variables se eliminan

$$\frac{844.608\text{Kpa}}{(8.412 \text{ kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)} + \frac{(1.71 \text{ m/s})^2}{2(9.81\text{m/s}^2)} = \frac{101.3\text{Kpa}}{(1.184 \text{ kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)} + \frac{(122.61 \text{ m/s})^2}{2(9.81\text{m/s}^2)} + HL$$

$$HL = \frac{844.608\text{Kpa}}{(8.412 \text{ kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)} - \frac{101.3\text{Kpa}}{(1.184 \text{ kg/m}^3)(9.81\text{m/s}^2)} + \frac{(1.71\text{m/s})^2 - (122.61 \text{ m/s})^2}{2(9.81\text{m/s}^2)}$$

$$HL = 10234.97814 - 8721.450809 + -766.0697248$$

$$HL = 747.4576033 \text{ m}$$

COOMPROBACIÓN:

$$V_{PROM} = \frac{V_{MAX}}{2}$$

$$V_{prom} = \frac{1.71}{2} \text{ m/s}$$

$$= 0.855 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = \rho g(Z2 - Z1 + HL)$$

$$\Delta P = 1.184 * 9.81(0 - 0 + 774.45) \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 8681.74996 \text{ Pa}$$

$$W_{bomba} = (V_{prom})(\Delta P)$$

$$W_{bomba} = 0.855 * 8681.74$$

$$= 7422.896216 \text{ w}$$

$$= 9.9 \text{ HP}$$

9.2 Perdidas de fricción

		Resultado	Unidades	Formulas	
Diámetro de la tubería (D)		0.0508	m		
longitud de la tubería (L)		29	m		
Presión	(P1)	896.318	kPa		
Presión	(P2)	792.897	kPa		
Presión total (PT)		1689.215	kPa		
Area	(A)	0.00202683	m ²		
Flujo Volumetrico (Q)		0.000506	m ³ /s		
Densidad (ρ)		1.29	kg/m ³		
Volumen (V)		0.268	m ³		
Tiempo		8 min 5 seg			
Temperatura (T)		79.166667	°C		
viscosidad	(V)	0.00002092	[kg/m·s]		
Entropía	(H)	5.052	[kJ/kg·K]		
Número de reynolds		15.67061839	Flujo Laminar	Nr=V*D*Den/ μ	
viscosidad dinamica (μ)		0.0000174	[Pa·s]		
Velocidad del flujo (V)		0.249650943	m ² /min	V=Q/A	
		0.004160849	m ² /s		
Perdida de Friccion (hf)		0.004360529	m	Hf=V/2g(fL/D)	(por cada metro de tubería)
Coeficiente de Fricción (F)		0.010853802	m	f=1.325/-LN(R.a/3.7+5.74/R.e ^{0.9}) ²	
Rugocidad absoluta (R.a)		0.00000165	m		
Rugocidad relativa (R.e)		3.24803E-05	m	R.e=R.a/D	
gravedad	(g)	9.81	m/s ²		

9.3 Ahorro energético y económico

$$W_{\text{comp,entrada}} = \frac{W_{\text{reversible,comp,entrada}}}{\eta_{\text{comp}}} = \frac{nRT_1}{\eta_{\text{comp}}(n-1)} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

$$W_{ce} = \frac{(1.2)(0.287 \frac{KJ}{Kg * K})(298.15 K)}{0.9(0.2)} \left[\left(\frac{997.6 KPa}{101.3 KPa} \right)^{0.16666} - 1 \right]$$

$$W_{ce} = \frac{101.683 kJ}{0.18} (0.464) = 264.726 KJ/Kg$$

η	0.9	
n	1.2	
R	0.287	kJ/kg·k
T1	298.15	K
T2	353.15	k
P2	997.6	kPa
P1	101.3	kPa
(n-1)	0.2	
(n-1)/n	0.166666667	

$$\dot{m}_{\text{aire}} = C_{\text{descarga}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{1/(k-1)} \frac{P_{\text{línea}}}{RT_{\text{línea}}} A \sqrt{kR \left(\frac{2}{k+1} \right) T_{\text{línea}}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.65 \left(\frac{2}{1.4+1} \right)^{\frac{1}{(1.4-1)}} \left[\frac{997.6 KPa}{0.287 \frac{KJ}{Kg * K}} (0.000319 m^2) \sqrt{(1.4) \left(0.287 \frac{KJ}{Kg * K} \right) 353.15 K} \right]$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.65(0.633)(3475.95 \text{ kPa} \cdot \text{Kg} \cdot \text{k} / \text{KJ})(0.000319 \text{ m}^2)(11.911 \text{ KJ} / \text{Kg}) = 0.0141 \text{ Kg/s}$$

Cdescarga	0.014067647	Kg/s
k	1.4	
Cdescarga	0.65	
Plineal	997.6	Kpa
Tlineal	353.15	k
A	0.000319	m ²

$$Q = Av$$

Q	0.0325	m ³ /min
v	1.71	m/s

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0.0328 \frac{m^3}{min}}{1.71 \frac{m}{s}} \left(\frac{1min}{60s} \right) = 0.00319m^2$$

$$\text{Potencia ahorrada} = \text{Potencia desperdiciada} = \dot{m}_{\text{aire}} W_{\text{comp, entrada}}$$

Pahorrada	3.724069373	Kw
°m	0.014067647	Kg/s
Wce	264.7258169	kJ/kg

$$P_{\text{ahorrada}} = (0.01406Kg/s)(264.725LJ/Kg)$$

$$P_{\text{ahorrada}} = 3.7241Kw$$

$$\text{Ahorros de energía} = (\text{potencia ahorrada}) (\text{horas de operación}) / \eta_{\text{motor}}$$

$$A_{\text{horro ene}} = \frac{(3.7241Kw) \left(8700 \frac{h}{\text{año}} \right)}{0.9} = 36247.61Kh/\text{año}$$

Hrs de uso	8760	h /año
ηmotor	0.9	%
Pahorrada	3.724069373	Kw
Ahorros Ene.	36247.60857	Kwh/año
cu energia	1.271	\$/Kwh

$$\text{Ahorro en costos} = (\text{ahorros de energía}) (\text{costo unitario de energía})$$

$$A_{\text{horro eco}} = \left(\frac{36247.61Kwh}{\text{año}} \right) \left(\frac{1.271\$}{Kwh} \right) = \$46,070.71 / \text{año}$$

44

Cálculos en Excel	
1	Bernoulli
2	Caídas de fricción
3	Ahorro energético

Tabla 5: Tablas en Excel

Se anexan los archivos en Excel

10. Presupuesto

LISTA DE MATERIALES						
PART.	NO. CAT.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	Costo por unidad en pesos	Costo final en pesos
1	9070T350D1	TRANSFORMER, TYPE T, INDUSTRIAL CONTROL, 350 VA, 240/480 VAC PRIMARY / 120 VAC SECONDARY, 1 PHASE, 50/60 HZ, 80 °C RISE	1	Pz	\$5,707.11	\$ 5,707.11
2	9080LBA164101	BLOQUE DE DISTRIBUCIÓN	1	Pz	\$ 350.55	\$ 350.55
3	A9F74101	PASTILLA TERMOMAGNETICA UNIPOLAR 1 AMP	1	Pz	\$ 378.00	\$ 378.00
4	A9F74203	PASTILLA TERMOMAGNETICA BIPOLAR 3 AMP	1	Pz	\$ 27.50	\$ 27.50
5		CONTACTOR AB	1	Pz	\$ 150.00	\$ 150.00
6	94.04 SPA	BASE RELEVADOR	1	Pz	\$ 115.00	\$ 115.00
7	55.34.8.120.0054	RELEVADOR 110	1	Pz	\$ 160.00	\$ 160.00
8	WDU 2.54	CLAMA BEIGE 2.5mm	30	Pz	\$ 130.00	\$ 3,900.00
9	WPE 2.5	CLEMA TIERRA 2.5mm	2	Pz	\$ 48.77	\$ 97.54
10	WPE 4	CLEMA DE TIERRA 4mm	1	Pz	\$ 49.02	\$ 49.02
11	362 06	LEGRAND LINA 25 CANALETA 40X40MM 2 METROS COLOR AZUL	1	Pz	\$ 304.00	\$ 304.00
12	NSYCRN54200P	GABINETE CON PLATINA SCHNEIDER CRN 500X400X200 CON PLACA DE MON	1	Pz	\$2,900.00	\$ 2,900.00
13	Voltech COFO-LS	Contacto Para Fotocelda Solar Con Soporte	1	Pz	\$ 179.00	\$ 179.00
14	Volteck SEFO-LS	FOTOCELDA PARA ENCENDIDO Y APAGADO AUTOMATICO	1	Pz	\$ 128.00	\$ 128.00
15	XB4BD53	SELECTOR FIJO NO 3 POSICIONES SCHNEIDER ELECTRIC	1	Pz	\$1,325.06	\$ 1,325.06
16		TERMINAL PARA TORRERA AB	1	Pz	\$3,003.00	\$ 3,003.00
17		ELEMENTO LUMINOSO VERDE TORRETA AB	1	Pz		
18		ELEMENTO LUMINOSO AMBAR TORRETA AB	1	Pz		
19	NA	MULTICABLE 3 PUNTAS	5	m	\$ 39.40	\$ 197.00
20	NA	CABLE ROJO NYLON CAL. 14	10	m	\$ 5.49	\$ 54.90
21	NA	CABLE NEGRO NYLON CAL. 16	5	m	\$ 3.58	\$ 17.90
22	NA	CABLE BLANCO NYLON CAL.14	5	m	\$ 3.04	\$ 15.20
23	NA	CABLE VERDE/AMARILLO CAL. 14	5	m	\$ 5.99	\$ 29.95
24	NA	CABLE NEGRO CAL. 8	30	m	\$ 4.36	\$ 130.80
25	NA	RONDANA GALVANIZADA 3/8" Ø INT 1/2" Ø EXT	50	Pz	\$ 1.08	\$ 54.00
26	NA	TORNILLO GALVANIZADO CABEZA PHILIPS 1/4"X3/4"	50	Pz	\$ 4.29	\$ 214.50
27	NA	RIEL DIN 4X3X150CM	1	Pz	\$ 117.50	\$ 117.50
28	NA	CANAleta 4X6X200CM	1	Pz	\$ 127.00	\$ 127.00
29	NA	TUBERIA 1/2" CONDUIT GALVANIZADO	5	m	\$ 60.88	\$ 304.40
30	NA	TUBERIA 2" CONDUIT GALVANIZADO	6	m	\$ 447.30	\$ 2,683.80
31	NA	CODO 90° 1/2" CONDUIT GALVANIZADO	1	Pz	\$ 25.50	\$ 25.50
32	NA	1/2" SERIE 2T CONDUIT BODY ALUMINIUM	1	Pz	\$ 77.92	\$ 77.92
					TOTAL	\$ 22,824.15

Tabla 6: Presupuesto

11. Pruebas.

14.1 Cálculo de fugas.

Una prueba de hermeticidad nos iba a permitir determinar el tamaño de las fugas en nuestro sistema de tubería, sin embargo (y como se especifico en nuestras restricciones) las operaciones de la empresa no nos permitieron realizar esta prueba debido a que deberíamos para la operación del compresor por un tiempo.

El método que el equipo siguió fue calcular cada cuanto tiempo se incendia la bomba del compresor. Utilizamos un cronometro y determinamos que cada 8 min con 50 segundos la bomba encendía y duraba encendida 1 min con 20s. La presión a la que esta configurado el compresor son 130psi y tiene un diferencial de 13psi, de modo que siempre que la presión llega a 117 psi el compresor se apaga; Esto significaba que cada 8 min con 50 segundos el sistema de aire comprimido perdía 13 Psi.

Después para determinar el tamaño de las fugas en el sistema utilizamos una calculadora de fugas proporcionada por Kaeser.

Capacidad del tanque	<input type="text" value="0.322772"/>	m ³
Duración de la medición	<input type="text" value="8.83"/>	min
Presión inicial del tanque	<input type="text" value="8.96318"/>	bar
Presión de descarga del tanque	<input type="text" value="8.06687"/>	bar
Potencia suministrada por el motor a presión máxima	<input type="text" value="6.2"/>	kW
Eficiencia del motor	<input type="text" value="90"/>	%
Volumen de aire a presión máxima	<input type="text" value="0.9910887"/>	m ³ /min
Potencia consumida por el motor	<input type="text" value="6.8889"/>	kW
Volumen de fugas	<input type="text" value="0.0328"/>	m ³ /min
Porcentaje de fugas	<input type="text" value="3.3095"/>	%

Figura 21: Calculadora de fugas KAESER

Una vez con los resultados de la calculadora pudimos determinar el área que tenían las fugas para proceder con los cálculos de gasto energético. Después de los cálculos (explicado a fondo en el punto 9 de este documento) encontramos que el área total de las fugas en el sistema era de 0.000319 m².

14.2 Comprobación de gastos de caída de presión.

Cuando realizamos los cálculos de caída de presión tuvimos varios inconvenientes, debido a que nuestros resultados eran muy grandes y no parecían coherentes. Debido a que era la primera vez que hicimos los cálculos no dedicamos a investigar varias formulas e hicimos varias pruebas hasta que los resultados empezaron a parecerse más a lo que buscábamos. Como comprobación de los cálculos de caída de presión, utilizamos la siguiente formula:

$$W_{bomba}=(V_{prom})(\Delta P)$$

De modo que la potencia de la bomba que obtuviéramos con esta fórmula y los cálculos que realizamos, estuviera por debajo de la potencia nominal real del compresor.

14.3 FluidSim

Se utilizo este software para simular el sistema del compresor y las tuberías, y de este modo utilizarlos como apoyo para los cálculos de caída de presión.

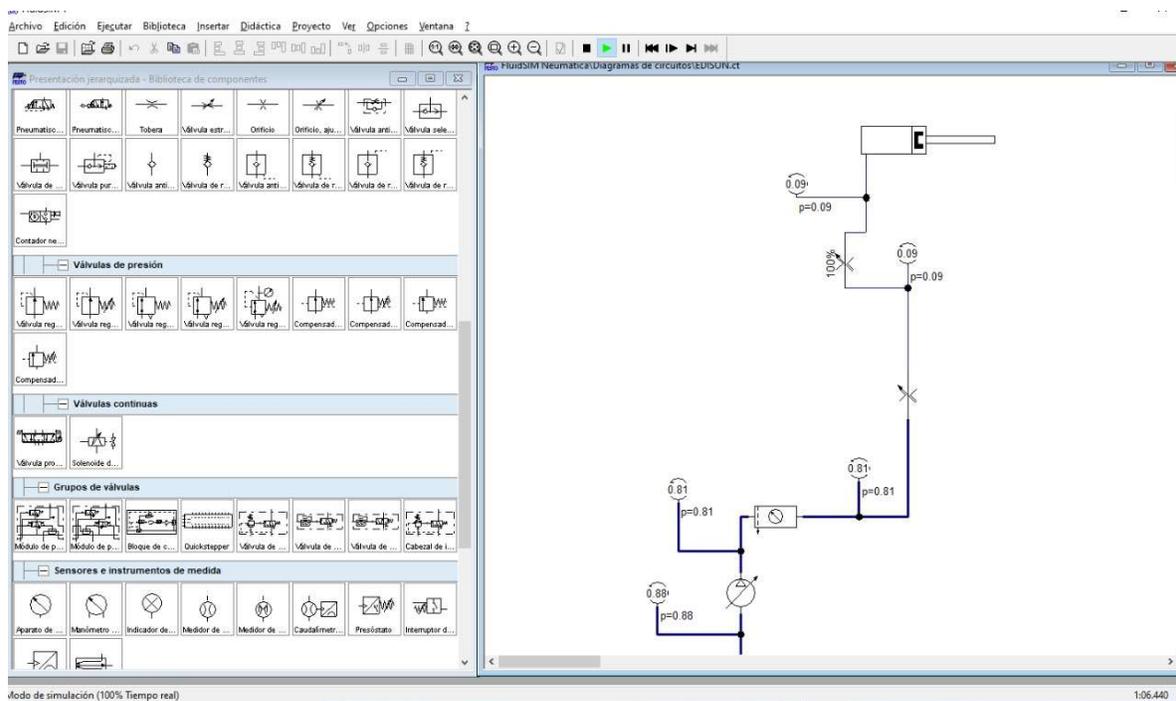


Figura 22: simulación FluidSim

14.4 MultiSim

Se utilizó este software para simular la lógica del gabinete eléctrico del sistema de encendido y apagado automático del compresor. Se anexa el archivo de la simulación

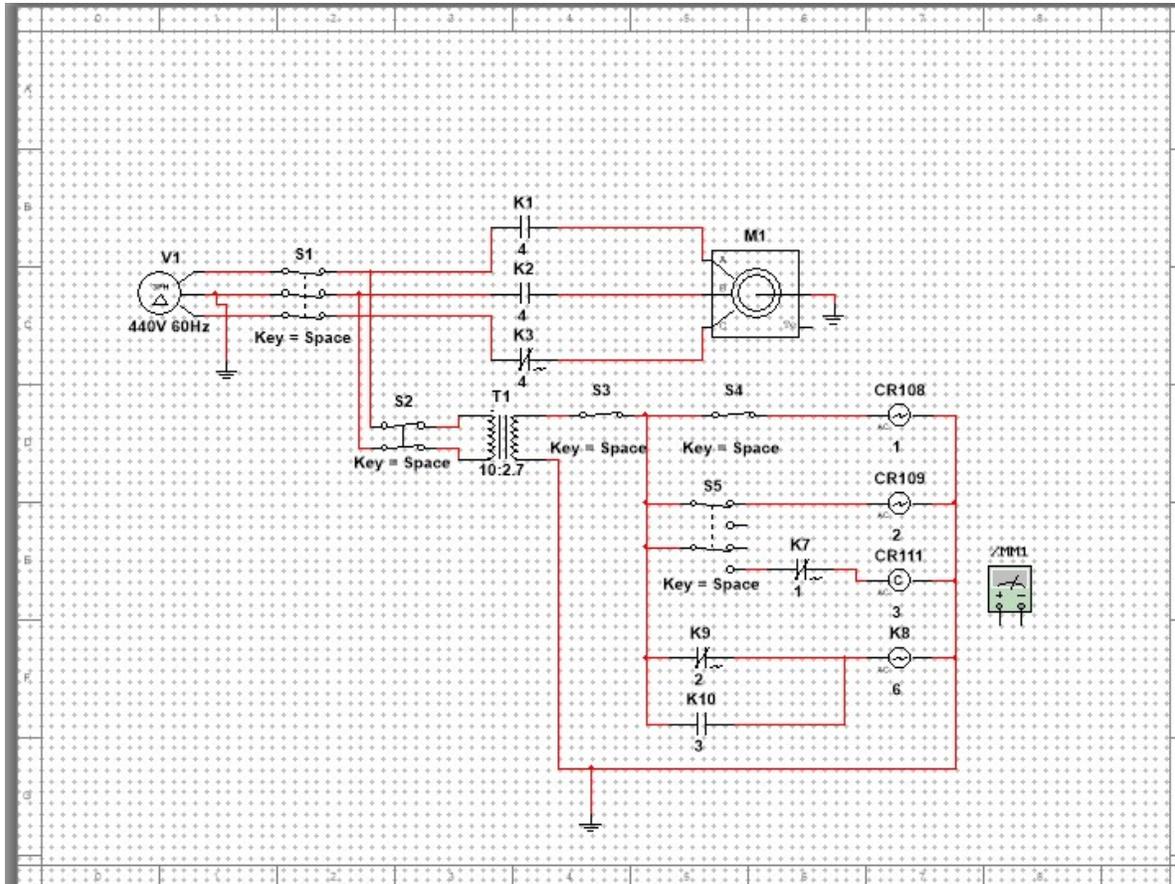


Figura 23: simulación Multisim

12. Problemas encontrados y solución adoptada.

12.1 Pandemia

Debido a la situación actual en México por el Covid – 19, les fue imposible a la mayoría del equipo acudir a la planta de MSC para evaluar el problema y poder realizar un mayor razonamiento par encontrar la mejor solución. Fue un gran desafío de comunicación, ya que solo una persona del equipo pudo evaluar l problemática físicamente y recabar los datos necesarios para los cálculos. No se encontró una solución para esa problemática, pero el equipo trato de adaptarse lo mejor posible.

12.2 Trabajo de la empresa y pruebas.

Debido a las actividades de la empresa, fue complicado realizar una gran variedad de pruebas en el sistema de aire comprimido, de modo que la mayoría de los datos tuvieron que adquirirse de forma teórica. Este es el caso de las pruebas de hermeticidad que se requerían para obtener el tamaño de las fugas en el sistema.

La solución que encontró el equipo fue a partir de los cálculos utilizando un cronometro, el diferencial de temperatura y una calculadora de fugas que proporciono el fabricante del compresor. De este modo encontramos el flujo volumétrico de las fugas, lo que nos permitió despejar el área de estas para realizar los cálculos necesarios para obtener el ahorro que se generaría en la empresa partir del arreglo de estas fugas.

12.3 Cálculos de caída de presión

Debido a que la empresa no cuenta con medidores de presión a lo largo del sistema de las tuberías, no podíamos apoyarnos de esta forma para obtener presiones dentro del sistema, de modo que nos guiamos a partir del flujo volumétrico que podía generar el compresor para estos cálculos; esto nos limitó, ya que nuestro catalogo de datos fue limitado, al igual que los posibles cálculos para aplicar. De modo que solo trabajamos con una formula para obtener esta caída y jugamos con las velocidades del flujo a parir de los distintos diámetros de tubería para realizar los cálculos.

12.4 Softwares de simulación

En el caso de nuestro equipo no teníamos mucho conocimiento respecto a estos softwares de modo que nos tomo tiempo entenderlos y creemos que esto retraso un poco el avance de nuestro equipo.

13. Resultados y conclusiones.

Este proyecto ha ampliado nuestro conocimiento en la parte de mecánica de fluidos ya que al trabajar directo con las tuberías, lo visto en clase nos ayudó a implementarlo y darle una respuesta a los conocimientos que obtuvimos, el cómo puede afectar las fugas no solo a las tuberías y al material que está dentro si no al gasto que debe generar la empresa para poder seguir realizando ese trabajo mes a mes, el poder ayudar a una empresa con este proyecto ayudara al igual a que en un futuro la empresa analice más de cerca sus materiales y herramientas que manejan día a día y así tengas un tiempo de vida mayor y reduciendo costos de operación y producción a un largo y corto plazo.

Gracias a las metodologías utilizadas de mejora continua, se logró obtener los resultados esperados y solucionar diversos problemas que estuvieron en el camino como fue el caso de los cálculos de caída de presión, donde no había concordancia con los resultados obtenidos, sin embargo, se hizo una verificación de datos y formulas lo que ayudó a que esto saliera, además se realizó una comprobación respecto a la potencia de la bomba y ambos datos tuvieron concordancia entre sí.

El aire comprimido es un recurso energético muy importante en la industria, el proyecto que desarrollamos nos permitió entender la importancia de estos sistemas y el cómo implementar métodos de ahorro importantes.

14. Valoración del proyecto.

Como en cada semestre, un proyecto significa un nuevo reto y mucho aprendizaje de por medio, ya que tuvimos que desarrollar mucho nuestras habilidades de comunicación para lograr terminar nuestras tareas. También, fue complicado trabajar con tan pocos datos, sin embargo, nos ayudó a entender más a fondo las fórmulas de neumática y aplicarlas de formas distintas para encontrar resultados. Esto hizo que fuera un proyecto muy interesante, ya que es algo que se encuentra en la industria y se puede decir que una ventaja de nuestro proyecto es que resultó aplicable a corto plazo.

En cuanto a lo que más gustó de este proyecto fue que se trataron distintos temas del semestre, sobre todo de Neumática e Hidráulica, la cual es la materia líder, ya que el proyecto como tal se enfoca en la parte neumática con conceptos como es el aire comprimido por lo que nos tocó investigar e involucrarnos mucho más a fondo en los temas vistos en clase, lo cual para nosotros fue emocionante ver la magnitud de información y aplicaciones que tienen estos temas en la industria. De igual forma, otra cosa fue el trabajo en equipo que se tuvo entre compañeros ya que, fue esencial en la correcta realización del proyecto, aunque en un principio se pensó que nos iba a costar la coordinación entre nosotros ya que la mitad del equipo no habíamos trabajado antes y no sabíamos cómo trabajaban, pero eso no fue problema, cada uno apoyó en ciertos aspectos del proyecto por lo que hubo un excelente trabajo en equipo así como la comunicación que se tuvo entre equipo y empresa fue algo

fundamental al momento de encontrar una problemática y trabajar en ella en conjunto.

Por otra parte, lo que no gustó del proyecto fue debido a las condiciones actuales que estamos viviendo con respecto a la pandemia y que todo tenga que ser virtual, sin embargo, eso no depende de nosotros ni de la universidad.

Por último, esperamos seguir aprendiendo de estos sistemas y mejorar en nuestras habilidades de razonamiento para hacer cálculos más precisos, así como formas más tecnológicas de automatización.

15. Anexo

Ver carpetas adjuntas

16. Bibliografía

- *Diferentes tipos de compresores*. (s. f.). Mundo Compresor. Recuperado 24 de noviembre de 2020, de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores>
- Erika Lucía Martínez Obregón, E. L. M. O. (2018).
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16069/Tesis%20SAC%20Erika%20Martinez.pdf?sequence=1>. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16069/Tesis%20SAC%20Erika%20Martinez.pdf?sequence=1>
- A.B.B. (s. f.). *Qué es un variador de frecuencia: Definición, cómo funciona, características y ventajas*. ABB. Recuperado 13 de agosto de 2020, de <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>

- *¿Cómo funciona un compresor de aire?* (s. f.). CarbonSystem. Recuperado 2 de septiembre de 2020, de <https://carbosystem.com/funcionamiento-compresor-aire/#:~:text=El%20funcionamiento%20de%20un%20compresor%20de%20aire&text=Esta%20herramienta%20absorbe%20aire%20a,este%20sistema%20es%20mec%C3%A1nicamente%20sencillo.>
- Universidad Politécnica de València, U. P. V. (2012). *Compresores: causas principales de riesgo y medidas correctoras*. universidad Politécnica de València. https://www.sprl.upv.es/iop_pm_23.htm
- *14 consejos de seguridad en el uso de compresores de aire que debería tener en cuenta*. (s. f.). Chicago Pneumatic. Recuperado 15 de octubre de 2020, de <https://www.cp.com/es-mx/compressors/expert-corner/blog/seguridad-en-el-uso-de-compresores-de-aire>
- *Análisis de datos de energía*. (s. f.). ProLeiT Group. Recuperado 12 de septiembre de 2020, de <https://www.proleit.es/soluciones/sistemas-de-gestion-de-energia-enms/analisis-de-datos-energeticos/>
- *Tipos de fugas de agua detectadas en tuberías*. (s. f.). dasmecontrol. Recuperado 22 de septiembre de 2020, de <https://dasmecontrol.com/tipos-fugas-agua/#:~:text=A%20continuaci%C3%B3n%20vamos%20a%20explicar,las%20fugas%20de%20agua%20silenciosas.>
- *¿Cómo detectar y reparar fugas de aire comprimido?* (2011, 26 noviembre). MR PERÚ. <https://www.mrperu.com.pe/blog/detectar-reparar-fugas-aire-comprimido/>

- Víctor Manuel Salinas Jarquín, V. M. S. J. (2015). *Flujo de tuberías*. Flujo de tuberías. <https://es.slideshare.net/IngVictorManuelSalinasJarquin/caida-de-presin-y-prdida-de-carga>
- *Leyes del aire comprimido*. (s. f.). PARKER. Recuperado 13 de septiembre de 2020, de <http://www.parkertransair.com/jahia/Jahia/filiale/usa/lang/es/home/TechnicalCenter/LawsOfCompressedAir#>
- *Calculadora: Caída de Presión del Aire en la Tubería*. (s. f.). TLV. Recuperado 1 de noviembre de 2020, de <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/air-pressure-loss-through-piping.html>
- *Cálculo de la caída de presión*. (s. f.). KEASER. Recuperado 1 de noviembre de 2020, de <https://es.kaeser.com/servicios/conocimiento/calculadora/caida-de-presion/>
- *Productos de aire comprimido*. (s. f.). KEASER. Recuperado 2 de septiembre de 2020, de <https://mx.kaeser.com/>
- *DETECTA A TIEMPO FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO*. (s. f.). MAQPOWER. Recuperado 6 de septiembre de 2020, de <https://www.maqpower.com.mx/detecta-a-tiempo-fugas-de-aire-comprimido/>