



**“Sustainable compressed air system:
Dedicated Filter-shooting compressor”**

Jesús Julián González Domínguez A01033248

Noviembre, 2020 Monterrey, Nuevo León, México

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a mis padres, Leticia Dominguez y Jose Luis González, quienes en todo momento me han apoyado, tanto a seguir preparándome académicamente, como a dar lo mejor de mí en lo que haga, siendo siempre un ejemplo de responsabilidad y disciplina, y empujándome a seguir creciendo profesional y personalmente.

Agradecer a mis hermanas, Lucia González y Rosana González, quienes al ser mayores y con su experiencia, siempre me han apoyado y orientado en mi crecimiento académico y profesional, dando consejos y estando para mí siempre que lo he necesitado.

Un gran agradecimiento a mi asesor de tesis, Dr. Francisco Alberto Tamayo Enríquez, quien en todo momento me apoyo, siempre tuvo disponibilidad y apertura para atender mis dudas, para orientarme en la forma de trabajar, y por creer en mí y aceptar ser mi asesor para este proyecto. Agradecer la paciencia y responsabilidad que tuvo, más por la situación actual que afecta a todo el mundo.

También agradecer a BAT México y a mi Gerente, Rodolfo Martinez Cervantes, quien en todo momento me ha apoyado a desempeñar las funciones de mi trabajo y dado las facilidades para el desarrollo de este proyecto. Gracias por siempre tener la apertura para hablar de mis inquietudes y por siempre tener una retroalimentación directa y en el momento adecuado.

Agradecer también a mis compañeros de maestría, que a lo largo del programa siempre fueron abiertos para intercambiar ideas, dar sugerencias y apoyar en lo que se requiera. Agradecer el haber compartido este tiempo con ellos, y tener por seguro estaremos en contacto para futuros proyectos.

Resumen

El mercado de la industria tabacalera es muy cambiante y competitivo, debido a la gran variedad de productos que se ofrecen, y a la demanda de los consumidores por nuevos productos, mejores precios y alta calidad del producto. Las empresas ponen un foco muy importante en la retroalimentación del consumidor, para lograr identificar inquietudes y tendencias, y así poder adaptarse, ya que en este mercado es muy importante ser el primero en hacer las cosas, pero más importante es hacerlo bien.

Para poder cumplir con la innovación y la alta calidad del producto, en ocasiones es importante se lleven a cabo grandes inversiones en este rubro, para día a día mantener los estándares y cumplir con lo que el mercado pide. Esto conlleva el tener que obtener ese dinero de algún lugar, donde lo más sencillo es incrementar el valor del producto, pero siendo este uno de los últimos recursos, ya que impacta directamente en el bolsillo del consumidor, dando pie a cambiar de marca por una que le ofrezca un precio menor. Para lograrlo, en BAT México año con año se fijan metas para reducción de costos de manufactura, para poder cumplir con la inversión en innovación y calidad, pero sin incrementar el costo del producto. Estas metas se reflejan en proyectos en las diferentes áreas, desde mejora en la logística de materiales y producto terminado, hasta la reducción de la energía eléctrica requerida para la producción.

Para BAT a nivel global, es muy importante el aportar en los acuerdos internacionales de disminuir la huella de carbono, lo cual dicta objetivos muy claros de disminución de emisiones para 2025 y para 2030. Con esto, BAT ha impulsado los proyectos de ahorro de energía, con los cuales se podrá obtener un beneficio económico para la empresa, al reducir los gastos de manufactura, pero a la vez en cumplir con las metas de emisiones pactadas en los diferentes países.

Este proyecto está enfocado en la reducción del consumo eléctrico en uno de los procesos de manufactura, el cual es el transporte de filtros del área de manufactura de filtros al área de manufactura de cigarrillos; ayudará a reducir los gastos en energía eléctrica, y aportará en la disminución de emisiones, alineándose con la meta puesta para el 2025 de reducir 30%.

Índice

Capítulo 1. Introducción	9
1.1. Planteamiento general	9
1.2. Descripción de la organización	9
1.3. Situación inicial	10
1.4. Justificación del Proyecto	13
1.5. Objetivos del proyecto.	14
1.6. Hipótesis de investigación	14
1.7. Impacto	15
Capítulo 2. Marco teórico	15
2.1 Equipo FiltroMats	15
2.2 Sistema de aire comprimido	17
2.2.1 Estandar	17
2.2.2 Generación	18
2.2.3 Secado	20
2.2.4 Distribución	21
2.3 Tipos de Compresores	21
2.3.1 Tornillo	21
2.3.2 Centrífugos	22
2.3.3 De paleta	23
2.3.4 Reciprocantes	23
2.4 Marcas	24
2.4.1 Atlas Copco	24
2.4.2 Kaeser	24
2.4.3 Ingersoll Rand	25
2.4.4 Kobelco	26
Capítulo 3. Metodología	26
3.1. Adquisición de datos	26
3.2. Comparación de tecnología	27
3.3. Comparación de marcas	28
3.4. Otros beneficios	29
3.5. Soporte económico	30

Capítulo 4. Resultados	31
4.1. Compra e Instalación	31
4.2. Consumo eléctrico	32
4.3. Proyección a futuro	35
Capítulo 5. Conclusión	36
6. Referencias	37

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Vista edificio British American Tobacco México	10
Ilustración 2 Índices de eficiencia	11
Ilustración 3 Electricidad y Gas natural, proporción GJ y costo	11
Ilustración 4 Proporción energía eléctrica para Servicios	12
Ilustración 5 Disparadora de filtros [3]	13
Ilustración 6 Filtromat 15 HAUNI [3]	16
Ilustración 7 Esquemático línea filtros BAT México	16
Ilustración 8 Sistema generación y tratamiento aire comprimido	17
Ilustración 9 Calidad aire ISO8573-1 [4]	18
Ilustración 10 Compresor KAESER [5]	19
Ilustración 11 Esquemático sistema aire comprimido	19
Ilustración 12 Regulador de presión de aire	20
Ilustración 13 Secadora de aire KAESER [5]	20
Ilustración 14 Flujo aire comprimido	21
Ilustración 15 Representación compresor tornillo [2]	22
Ilustración 16 Representación compresor centrífugo [2]	22
Ilustración 17 Representación compresor de paleta [2]	23
Ilustración 18 Representación compresor reciprocante [2]	23
Ilustración 19 Compresor Atlas Copco [2]	24
Ilustración 20 Compresor KAESER [5]	25
Ilustración 21 Compresor INGERSOLL RAND [7]	25
Ilustración 22 Compresor KOBELCO [8]	26
Ilustración 23 Consumo mensual AC	32
Ilustración 24 MCigarrillos, kWh y eficiencia	33
Ilustración 25 Estudio energético compressor	34

Lista de tablas

Tabla 1 Tecnologías	28
Tabla 2 Marcas de compresores	29
Tabla 3 Inversión	30
Tabla 4 Análisis financiero	31
Tabla 5 Consumo y producción mensual	33

Capítulo 1. Introducción

1.1. Planteamiento general

Este documento tiene como fin el analizar un área de oportunidad en el sistema de aire comprimido de la planta BAT México, así como plantear y desarrollar una solución/mejora a la oportunidad analizada. La oportunidad consiste en disminuir el consumo de energía eléctrica para generar la presión y flujo de aire comprimido demandado por los equipos de producción.

La metodología consistirá en analizar las ventajas y desventajas del sistema actual, así como los beneficios económicos y ambientales (disminución de kWh) de un posible cambio en el sistema, alineando con la estrategia de la empresa, y los proyectos a futuro.

1.2. Descripción de la organización

British American Tobacco (BAT) es un grupo con participación en la industria tabacalera, que tiene gran presencia a nivel internacional. Inició en 1902 mediante la unión de Imperial Tobacco Company y American Tobacco Company. Actualmente, el grupo tiene presencia en más de 200 mercados, y cuenta con fábricas en 41 países al rededor del mundo. Sus principales marcas globales son Pall Mall, Dunhill, kent, Lucky Strike y Rothmans. El volumen de producción anual aproximado es de 663,000 millones de cigarros, y cuenta con más de 50,000 empleados en todo el grupo.

En Monterrey México, en 1936, se funda Cigarrera la Moderna, dando inicio a lo que en un futuro se convertiría en BAT México. En 1985, debido a un cambio en la ley, se permite al capital extranjero participación en empresas mexicanas hasta por un 49%, con lo cual BAT adquiere el 45% de las acciones de Cigarrera la Moderna. Posteriormente, en 1997, con un nuevo cambio en la ley, Cigarrera la Moderna pasa a ser parte de British American Tobacco por completo, con lo cual surge lo que hoy es British American Tobacco México.

Este proyecto se llevó a cabo en la planta de BAT México, ubicada en Monterrey, Nuevo León, México, colonia cetro, durante el periodo 2019-2020.



Ilustración 1 Vista edificio British American Tobacco México

1.3. Situación inicial

La empresa tiene como objetivo brindar excelencia en calidad en cada paso de fabricación del producto, desde los campos tabacaleros, hasta los procesos de manufactura de producto final.

El Mercado en la industria tabacalera es muy competitivo, y es una realidad que es un mercado muy demandante y cambiante, esto debido a los cambios generacionales y a las regulaciones en materia de salud que año con año van cambiando a lo largo del mundo. Estos cambios conllevan el buscar día con día la innovación en los productos, más a su vez, también la innovación en el proceso, con la finalidad de lograr mantener un balance adecuado entre la calidad del producto, la rentabilidad del negocio y la responsabilidad con el medio ambiente.

En BAT México, como parte de buscar esa innovación en el proceso, uno de los objetivos constantes es el ser más eficiente a la hora de utilizar los recursos, por lo que se lleva un estricto control y medición de la energía eléctrica, agua y gas utilizado en sus procesos.

Durante los últimos años se han llevado a cabo iniciativas de ahorro de energía, todo esto alineado a la estrategia organizacional de buscar ser una empresa más eficiente y amigable con el medio ambiente. Y aunque se han obtenido muy buenos resultados, aún existen grandes áreas de oportunidad que son necesarias de explotar.

La unidad que se utiliza para medir la energía es el Gigajoule, con lo cual podemos obtener la equivalencia de los KWH y los m3 de gas utilizados, y tomando la cantidad de producto manufacturado, podemos obtener la eficiencia del proceso.

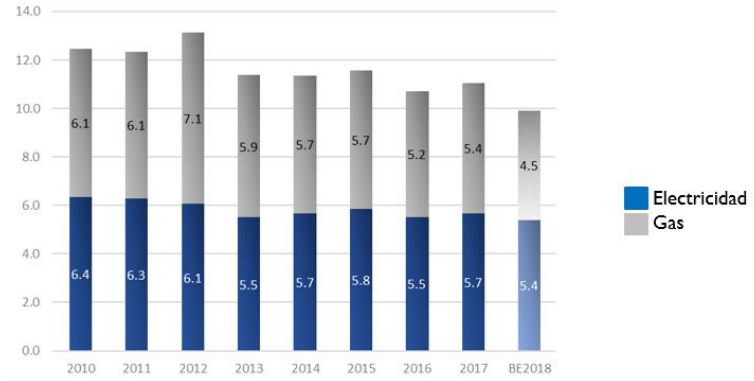


Ilustración 2 Índices de eficiencia

En la actualidad, la utilización de Electricidad y Gas está muy cercana al 50 – 50, más existe una gran diferencia en el costo de cada energético.

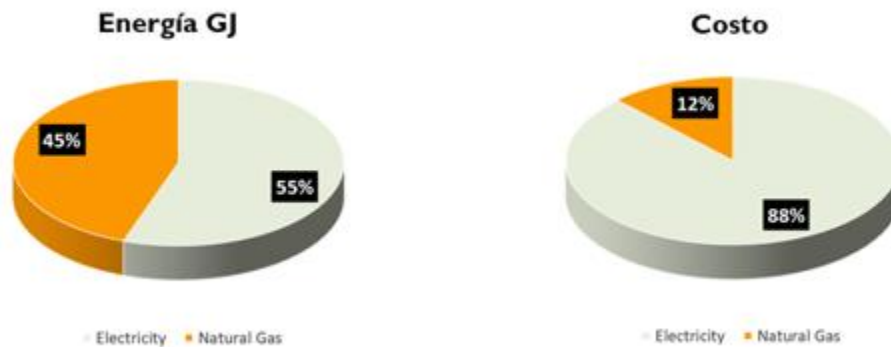


Ilustración 3 Electricidad y Gas natural, proporción GJ y costo

Con esto, para poder mejorar la eficiencia en el proceso, y buscando un beneficio económico, se decide atacar los principales consumidores de energía eléctrica a lo largo del proceso, al tener más peso económico.

Actualmente la distribución de los consumidores se lleva a cabo en 6 principales rubros, donde 2 de ellos no tienen relación directa con los volúmenes de producción (HVAC y Otros), y 4 de ellos si están

directamente relacionados con la producción (Aire comprimido, Vacío, Colector de polvos y alimentación neumática), los cuales creemos tienen una gran área de oportunidad de ahorro.

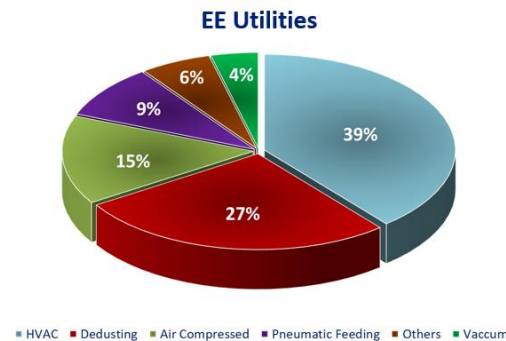


Ilustración 4 Proporción energía eléctrica para Servicios

Analizando la gráfica anterior, podemos determinar que uno de los sistemas que requiere mayor energía eléctrica para su generación es el sistema de aire comprimido, el cual representa cerca del 15% del consumo total de servicios. Aunque existen 2 servicios que representan un consumo energético mayor, actualmente se encuentran proyectos corriendo para esos servicios, por lo que no serán considerados en el alcance de este análisis.

Actualmente, la planta está dividida en 3 predios, donde en cada uno de ellos se encuentra una estación de generación de aire comprimido, teniendo capacidad según la demanda requerida. La línea de aire comprimido opera a una presión de 6.7 Bar, con la cual se puede cubrir el requerimiento de todos los equipos de planta, el cual es de 5.7 Bar. Esto nos indica que a lo largo de la distribución tenemos una caída de 1 Bar, lo cual, en términos de energía, se considera como una pérdida importante.

Aunque existen algunos puntos a mejorar para poder reducir dicha caída de presión, existe uno en particular que corresponde a la principal limitante para llevarlo a cabo.

Dentro de la maquinaria que requieren dicho aire, existe un tipo que por sus características requiere de una presión menor (3.5 bar), pero a su vez un flujo de aire mayor durante un periodo de tiempo corto. Esta maquinaria se denomina "FiltroMat", la cual se utiliza para trasladar el filtro de su área de manufactura, al proceso siguiente. Este traslado se lleva a cabo mediante una pistola de aire, la cual, con aire a presión, lanza el filtro por una tubería que se conecta en el otro extremo con el siguiente proceso.



Ilustración 5 Disparadora de filtros [3]

Para poder lanzar dicho filtro, se requiere un nivel de presión determinado, ya que, si la presión es muy baja, el filtro puede quedar atorado en algún punto de la tubería, y si la presión es muy alta, el filtro puede dañarse, lo cual afectaría el estándar de calidad.

Para poder llevar a cabo dicha disminución de presión, se tiene instalado un regulador de presión a la entrada del equipo, el cual ayuda a limitar la presión y entregar el valor adecuado. El problema de este proceso es que mientras más alta sea la presión para generar, mayor será la energía necesaria, por lo cual, al reducir dicha presión, esto corresponde a energía desperdiciada, y a una mayor carga para los compresores, ya que tienen una mayor demanda que deben cumplir.

La solución propuesta es la adquisición e instalación de un compresor dedicado para los equipos FiltroMat, con lo cual podamos tener una línea de aire comprimido a una presión menor, evitando así la generación de una proporción de aire a una presión que no utilizaremos, y reflejando esto en un menor consumo eléctrico.

1.4. Justificación del Proyecto

Actualmente dentro de los objetivos de la nueva estrategia organizacional, se encuentra el reducir de manera organizacional (Todas las fábricas de BAT), el 25% de los Giga Joules utilizado para la producción

para 2025, por lo cual, este proyecto ayudará a disminuir los costos por consumo eléctrico de la fábrica en Monterrey, y a su vez, aportará en la disminución de GJ planteada para el 2025.

Además, dentro de los objetivos personales dentro del departamento de ingeniería, está el plantear y ejecutar proyectos de mejora para el mantenimiento y operación de los equipos que dan servicio (Electricidad, vapor, aire comprimido, vacío, colección de polvo, etc..) a los módulos de producción.

1.5. Objetivos del proyecto.

Este proyecto tendrá como intención la adquisición, instalación y puesta en marcha de un sistema de generación de aire comprimido dedicado para los sistemas FiltroMats, tanto en planta Sur como en planta norte, el cual pueda generar aire a una presión menor a 6.7 bar, con lo cual la pérdida por reducción disminuye. A su vez, el sistema contará con un compresor variable, el cual ayudará a ajustar la generación de flujo de aire de acuerdo a la demanda derivada de equipos parados y/o en producción.

Actualmente se suministra aire comprimido a una presión de 6.7 Bar a 12 equipos FiltroMats (7 Planta Sur y 5 planta norte), los cuales tiene en conjunto un consumo de aire de 600 CFM (cubic feet per minute). Al estar dividido en dos plantas, esto equivale a tener en operación un compresor de 100hp en planta sur, y uno de 60hp en planta norte, todo el tiempo, produciendo 784 CFM al no ser un compresor variable, y teniendo un consumo de 120 Kwh en suma, al estar en carga.

1.6. Hipótesis de investigación

Se pretende validar la hipótesis de que, con los avances tecnológicos de años recientes, y los nuevos modelos de equipos con capacidad de adquisición y envío de información, en el mercado existen equipos (compresores), que nos permitan llevar a cabo la disminución de la presión a utilizar, así como como el obtener otras ventajas competitivas, en términos de mantenimiento, eficiencia, adquisición de información, métodos de comunicación, etc..., generando un costo-beneficio positivo.

Se llevarán a cabo análisis cuantitativos para determinar la verdadera eficiencia de los equipos, así como la real ganancia obtenida, y análisis cualitativos, para determinar las ventajas y desventajas dependiendo de la marca, localización, o industria target del proveedor.

1.7. Impacto

Al adquirir un compresor variable dedicado para los FiltroMats, en teoría se podrá generar aire a una presión menor (4.5 Bar), lo que en consumo eléctrico del compresor corresponde a 93.6 Kwh al estar en carga, lo que representa un 22% de disminución en consumo eléctrico. A su vez, al ser un equipo variable, esto permitirá regular la presión vs la demanda, lo que permitirá ahorrar en promedio un 16% más, lo que representa en total como sistema una reducción de cerca del 38% en energía necesaria para la generación de aire comprimido para los sistemas FiltroMats.

Tomando en cuenta las horas actuales de trabajo de los equipos, de 5,700 horas anuales aproximadamente, y un costo de kwh de \$2.1 Mxn, que continua al alza, el ahorro aproximado anual sería de \$551k Mxn, y la disminución aproximada de Gj sería de 946, lo equivalente al 3.5% de este sistema.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Equipo FiltroMats

Como se mencionó con anterioridad, uno de los 3 principales procesos para la manufactura del cigarrillo es el de elaboración del filtro. Al requerir de una logística para el surtido de materiales y deshechos, así como de un tipo de maquinaria especial y de tamaño considerable, dicho proceso debe llevarse a cabo en un área independiente. A su vez, para cumplir con la variedad de SKUs a manufacturar, se cuenta con un gran número de máquinas que permiten dar flexibilidad y lograr abastecer los módulos de producción final del cigarrillo. Estas máquinas llevan por nombre KDF, de acuerdo con la marca que las fabrica.

Una vez manufacturado el filtro, este debe ser transportado al área donde se ubican los módulos de producción final del cigarrillo, lo cual tanto en planta Norte como en planta Sur, se encuentran a distancias entre 50 y 200 metros, según la locación del módulo. Para el transporte se utiliza un equipo llamado Filtrmat, el cual se interconecta con el módulo de producción final por medio de tuberías de aluminio, por las cuales es transportado el filtro por medio de inyección de aire comprimido a una presión entre 1.5-2.5 Bar, de acuerdo con el diámetro y peso del filtro.



Ilustración 6 Filtromat 15 HAUNI [3]

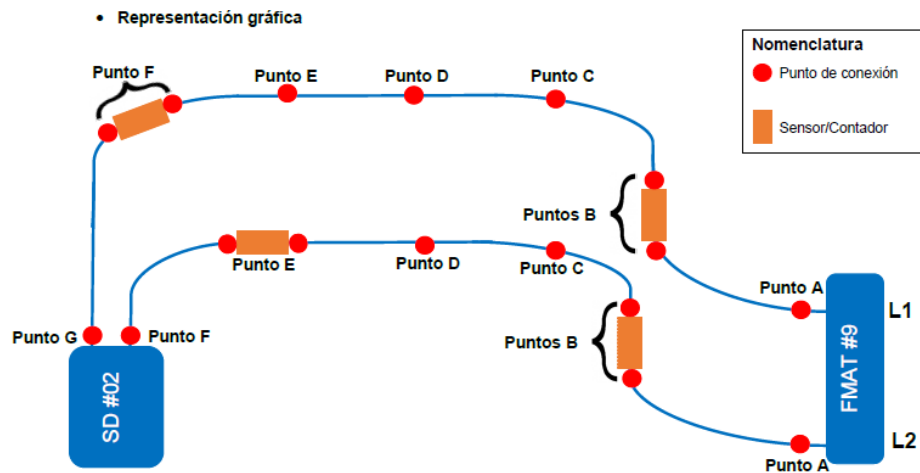


Ilustración 7 Esquemático línea filtros BAT México

En la planta Sur, para cubrir con esta demanda, se cuenta con 7 equipos Filtromat, los cuales trabajan con un consumo promedio de aire comprimido de 50 cmfs, dando un total de consumo de 350 CFM en promedio.

En la planta Norte, para cubrir con esta demanda, se cuenta con 5 equipos Filtromat, los cuales trabajan con un consumo promedio de aire comprimido de 50 cmfs, dando un total de consumo de 250 CFM en promedio.

2.2 Sistema de aire comprimido

2.2.1 Estandar

Los sistemas de aire comprimido son utilizados en una amplia variedad de tipos de industrias, desde la metalmecánica, hasta la alimenticia y médica. La función principal es el accionamiento de componentes mecánicos sin la necesidad de un motor o dispositivo de accionamiento en cada punto de movimiento. Los sistemas neumáticos, son similares a los sistemas hidráulicos, pero la ventaja sobre estos es que tienen una velocidad de reacción mayor, y requieren menor mantenimiento, la desventaja sería la cantidad de fuerza que pueden generar.

El aire comprimido también es utilizado en procesos donde se entra en contacto directamente con el producto, ya sea para generar algún movimiento durante el proceso, para realizar la limpieza de cierto producto o equipo.

Para utilizar el aire comprimido en una gran variedad de aplicaciones, éste es tratado de diferentes formas de acuerdo con el fin que tendrá, donde usualmente pasa por un proceso de secado, en el cual se elimina gran parte de la humedad que el aire puede traer, y posteriormente por diversos filtros para retirar partículas de aceite, polvo, u olores que puedan afectar el proceso posterior.

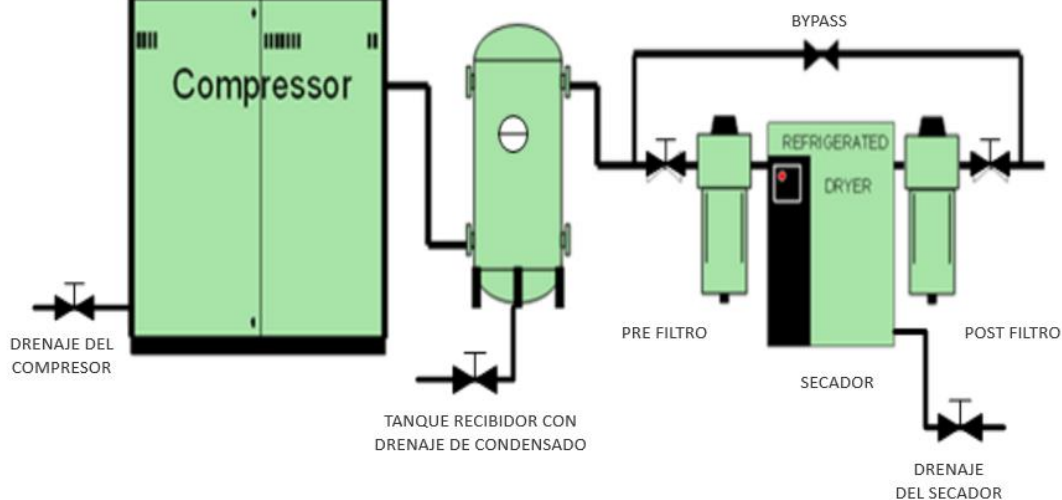


Ilustración 8 Sistema generación y tratamiento aire comprimido

Actualmente existen 3 estándares relacionados a la calidad del aire comprimido, los cuales son: ISO8573, ISO12500 y ISO7183. El más utilizado a nivel mundial y que actualmente es utilizado en BAT México, es el

ISO8573. Este estándar regula principalmente la cantidad máxima de partículas sólidas, agua y aceite que debe contener el aire, dependiendo del proceso en el que se utilizará. [1] [4]

ISO8573-1:2010 CLASS	Solid Particulate				Vapour Pressure Dewpoint	Water		Oil Total Oil (aerosol liquid and vapour) mg/m ³
	Maximum number of particulates per m ³			Mass Concentration mg/m ³		Liquid g/m ³		
	0.1 - 0.5 micron	0.5 - 1 micron	1 - 5 micron					
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than Class 1							
1	≤ 20,000	≤ 400	≤ 10	—	≤ -70°C	—	—	0.01
2	≤ 400,000	≤ 6,000	≤ 100	—	≤ -40°C	—	—	0.1
3	—	≤ 90,000	≤ 1,000	—	≤ -20°C	—	—	1
4	—	—	≤ 10,000	—	≤ +3°C	—	—	5
5	—	—	≤ 100,000	—	≤ +7°C	—	—	—
6	—	—	—	≤ 5	≤ +10°C	—	—	—
7	—	—	—	5 - 10	—	≤ 0.5	—	—
8	—	—	—	—	—	0.5 - 5	—	—
9	—	—	—	—	—	5 - 10	—	—
X	—	—	—	> 10	—	> 10	—	> 10

Ilustración 9 Calidad aire ISO8573-1 [4]

En BAT México, la industria es considerada dentro del rubro alimenticio, por lo cual la calidad que debemos manejar es la clase: 1.4.2.

Esto quiere decir que el máximo de partículas por m³ corresponde a clase 1, que significa menos de 20,000 partículas de 0.1 -0.5 micrones o menos de 10 partículas de tamaño de 1 – 5 micrones. El punto de rocío corresponde a clase 4, con una temperatura menor o igual a 3 grados. Y la cantidad de aceite en el aire corresponde a clase 2, indicando un máximo de 0.1 mg/m³.

Para mantener este estándar, se tiene instalado un filtro especial para recolección de partículas, aceite y agua. Dichos tratamientos garantizan tener equipos con menor corrosión, así como tener el producto libre de algún contaminante generado por el uso de aire comprimido.

2.2.2 Generación

Existen diferentes tipos de tecnología utilizadas en los compresores, como lo son los de pistón, de tornillo, rotativo, etc. En BAT México, la tecnología utilizada es de tornillo rotativo, debido a la durabilidad de los equipos y la presión constante en la que se opera. Los equipos utilizados son de la marca Kaeser, y se cuenta con una gran variedad de modelos, de 50hp, 60hp, 100hp y 250 hp, que están colocados en diferentes áreas según la demanda correspondiente.



Ilustración 10 Compresor KAESER [5]

Para la generación se cuenta con un número determinado de compresores en serie, los cuales suministran el aire a una tubería centralizada y entran en funcionamiento según la demanda de flujo de aire (CFM) que se tenga. Esta demanda, al ser variable, hace que continuamente compresores arranque y paren continuamente, ocasionando un gasto de energía mayor.

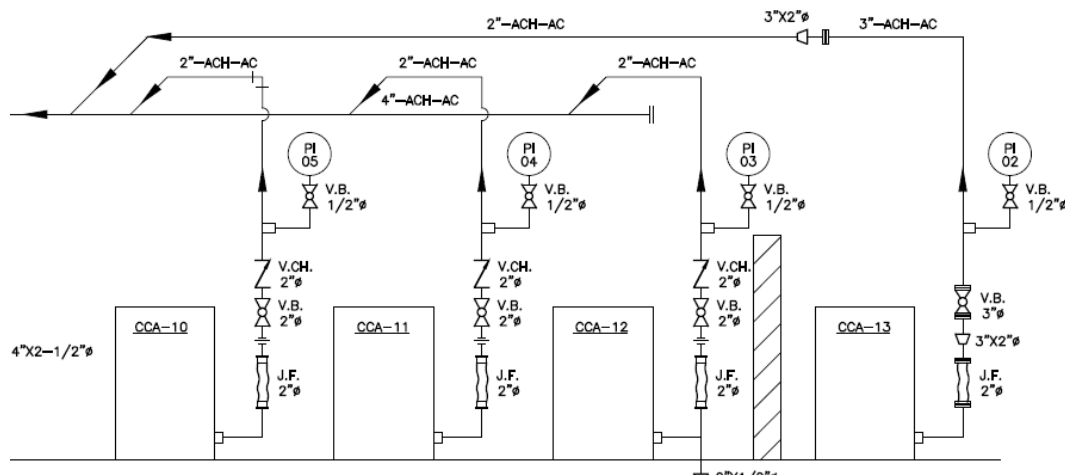


Ilustración 11 Esquemático sistema aire comprimido

Nuestras estaciones de generación dan servicio a 3 áreas principales, los equipos del proceso primario, del proceso secundario, así como del proceso de filtros, el cual incluye la fabricación y el transporte de los mismos, que es el tema tratado en este proyecto. Los procesos primario y secundario trabajan a una presión de 5.7 bar, y el transporte de filtros a 3.5 bar, más al estar conectados todos en un mismo ramal, la presión estándar es de 5.7 bar, teniendo reguladores en los equipos que lo necesitan.



Ilustración 12 Regulador de presión de aire

2.2.3 Secado

Para mantener el estándar ISO que requiere el proceso de secado, así como para evitar el desgaste prematuro de los equipos y mecanismos. Se lleva a cabo un proceso de secado del aire comprimido, ya que, al comprimirse, se genera una gran cantidad de humedad, la cual es necesaria retirar de las líneas de distribución.

Para realizar el secado, existen diferentes tecnologías y rangos de trabajo, donde en BAT México la calidad del aire manejado es de $< 3^{\circ}\text{C}$ de punto de rocío. Para llegar a este punto, se cuenta con diversos equipos secadores, que puedan tener la capacidad de tratar los volúmenes de aire requeridos. La tecnología es de tipo refrigerativas, las cuales tienen como ventaja el cumplir con el rango deseado, bajos costos de mantenimiento y bajo consumo energético.



Ilustración 13 Secadora de aire KAESER [5]

2.2.4 Distribución

La distribución de aire comprimido se lleva a cabo a través de tuberías, las cuales pueden ser de diversos materiales, diámetros y longitudes, donde cada característica afecta el flujo y presión del aire. El material más común es el acero, debido a su bajo costo y disponibilidad. Otro material muy utilizado es el aluminio, que, al ser más ligero, requiere de una menor infraestructura, y permite una mayor flexibilidad al momento de conectar y desconectar. A su vez, el aluminio ofrece una superficie interior de mayor duración y más lisa, que permite tener un flujo de aire más laminar, lo que disminuye turbulencias que pueden ocasionar caídas de presión. [14] [15]

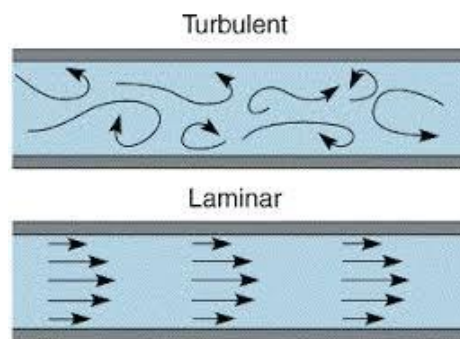


Ilustración 14 Flujo aire comprimido

En BAT México actualmente se utiliza tubería de acero, la cual, al tener más de 20 años de instalada, ya cuenta con cierto desgaste interno, que se refleja en caída de presión a lo largo de la distribución. Se tiene contemplado en futuras adecuaciones el cambio a tubería de aluminio.

2.3 Tipos de Compresores

Un compresor de aire comprimido es una máquina fabricada con el fin de comprimir el aire tomado del exterior, y despararlo por cierto canal de distribución, usualmente una tubería. Existe una gran variedad de tipos de compresores, adecuados para diferentes aplicaciones. Los más comunes son los de tornillo, centrífugo, paletas y reciprocantes.

2.3.1 Tornillo

Los compresores de tornillo, también conocidos como helicoidales, están conformados por dos engranes helicoidales, uno macho y uno hembra, los cuales están acoplados entre sí. Al momento de la rotación, el

diente del macho se introduce en el engrane hembra, desplazando el aire axialmente, comprimiéndolo. Debido a que los engranes no tienen contacto directo, no se utiliza lubricación, generando un aire libre de aceite. Estos equipos pueden generar presiones de hasta 25 Bar, y flujos arriba de 1,000 CFM. [2] [6]

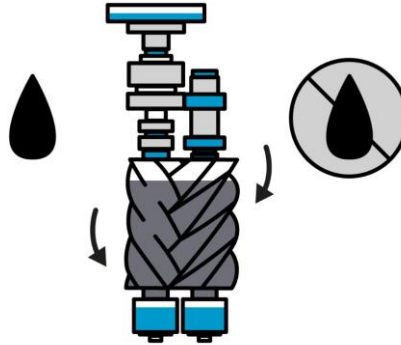


Ilustración 15 Representación compresor tornillo [2]

2.3.2 Centrífugos

Los compresores centrífugos tienen como característica principal que su flujo de descarga es radial, esto es que el aire es aspirado por el centro de la turbina, y las fuerzas centrífugas lo empujan hacia el perímetro de la turbina. Este movimiento radial genera una cantidad de energía cinética, la cual es convertida en presión. Este tipo de compresores cuenta con varias etapas, donde en cada una de ellas se lleva a cabo un aumento de presión, usualmente con una relación no mayor a 3. Este tipo de compresores son utilizados en aplicaciones donde se requiere una gran velocidad del flujo, más no para presiones muy altas, ya que para llegar a estas se requiere una gran cantidad de etapas. [2] [6]

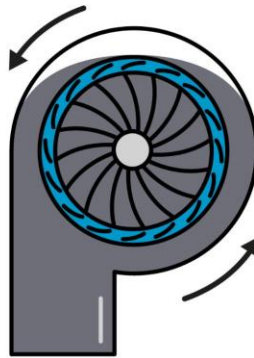


Ilustración 16 Representación compresor centrífugo [2]

2.3.3 De paleta

Los compresores de paletas, generalmente fabricados con aleaciones de fundición especiales, son lubricados en su mayoría con aceite. Cuenta con un rotor, el cual cuenta con unas paletas y gira de manera excéntrica en el interior de un cilindro o estator. Durante la rotación, las paletas son presionadas contra la pared del estator, reduciendo el volumen del aire y aumentando la presión. Dicha presión es liberada cuando la cavidad formada por las paletas cruza por el punto de salida o descarga. Debido a la estructura de paletas, las presiones a alcanzar no son muy altas. [2] [6]

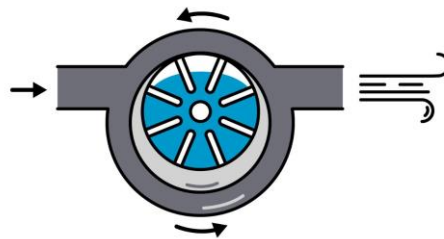


Ilustración 17 Representación compresor de paleta [2]

2.3.4 Reciprocantes

Los compresores reciprocantes, también conocidos como de pistón, son utilizados principalmente en aplicaciones que requieren una presión relativamente baja, y donde debido a lo sencillo del sistema, pueden ser equipos fáciles de manipular y transportar. Su funcionamiento se da mediante el desplazamiento de un pistón, el cual, de manera continua, se mueve hacia adelante y hacia atrás, incrementando en cada ciclo la presión, hasta llegar al valor deseado. Esto se regula mediante válvulas automáticas, las cuales se activan y desactivan dependiendo de la presión en el sistema. [2] [6]

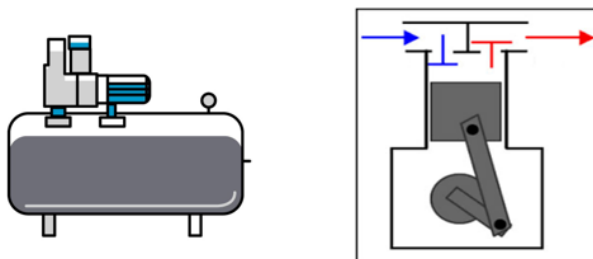


Ilustración 18 Representación compresor reciprocante [2]

2.4 Marcas

2.4.1 Atlas Copco

Atlas Copco es una empresa internacional con presencia en más de 180 países, tiene su base corporativa en Estocolmo, Suecia, y cuenta con aproximadamente 39,000 empleados. Tiene como principales clientes la industria minera, alimenticia, y de manufactura en grandes volúmenes. Sus principales productos son los equipos para generación y distribución de aire comprimido, bombas de vacío, generadores eléctricos, así como bombas de agua. Tiene oficinas propias de la Marca en México, y ofrece servicios de mantenimiento por evento, programas de mantenimiento por contrato, alquiler de equipos, así como proyectos de solución integral. También ofrecen seminarios y capacitación para el uso y mantenimiento de los equipos. [2]



Ilustración 19 Compresor Atlas Copco [2]

2.4.2 Kaeser

Kaeser es una empresa internacional que fue fundada en 1919 en Coburg Alemania como un taller de maquinados. Posteriormente, debido a la alta demanda de compresores en la región posterior a la posguerra, cambio de giro e inicio con la fabricación de compresores. Actualmente cuenta con más de 7,000 empleados distribuidos en más de 140 países. Sus principales clientes son de la industria alimenticia, minera y automotriz. Su principal enfoque es la manufactura de equipos para la generación de aire comprimido, así como para el tratamiento y distribución de este; además de ofrecer un servicio de mantenimiento postventa. Cuenta con una oficina de la Marca en México, en la ciudad de Querétaro, y cuenta con un gran número de distribuidores autorizados, que también dan soporte de mantenimiento y refacciones. [5]



Ilustración 20 Compresor KAESER [5]

2.4.3 Ingersoll Rand

Ingersoll Rand es una empresa americana fundada en 1905 mediante la unión de Ingersoll-Sergeant drill company y Rand drill company. Y que cuenta con presencia alrededor del mundo. A lo largo de su historia ha adquirido a una gran cantidad de empresas, por lo que ha diversificado los productos y servicios que ofrece, los cuales abarcan desde compresores y equipo para el tratamiento y distribución de aire comprimido, hasta herramientas de mano como lijadoras, destornilladores, taladros, motores neumáticos, etc... Sus principales mercados son la construcción, industria Aero espacial, industria alimenticia, industria automotriz, entre otros. Cuenta con oficina de la Marca en la ciudad de México, así como diversas distribuidoras a lo largo del país. [7]



Ilustración 21 Compresor INGERSOLL RAND [7]

2.4.4 Kobelco

Kobelco es un grupo de empresas que está constituido por Kobe Steel, Kobelco Compressors America, Kobelco Compressors Manufacturing of Indiana, y Kobelco Machinery Asia Pte, donde manejan productos similares, pero más enfocados al mercado final. Kobelco fue fundada en 1905 en Japón, e inicio la fabricación de compresores en 1915. Sus productos están orientados en su mayoría a la inyección de aire comprimido a grandes presiones y flujos, siendo la industria del acero su principal mercado. También tiene presencia en la industria petroquímica, generación de energía eléctrica y minera. Los servicios que ofrece son la venta de maquinaria, así como el mantenimiento y la reparación de esta. Actualmente no cuenta con oficinas de la Marca en México, pero si con distribuidores autorizados a lo largo del país. [8]



Ilustración 22 Compresor KOBELCO [8]

Capítulo 3. Metodología

3.1. Adquisición de datos

Se llevó a cabo la medición del consumo de aire comprimido de las filtromat para determinar la demanda actual. Para esto, se consideró el flujo máximo requerido para cada una de ellas, tomando el supuesto de que en algún momento todas las maquinas pudieran requerir el flujo de aire al mismo tiempo. El flujo de aire determinado por Filtromat fue de 50 CFM.

El análisis se realizó en cada una de las plantas, ya que cuentan con diferente cantidad de equipos.

Para planta Sur, el requerimiento de flujo fue de 350 CFM, ya que cuenta con 7 equipos Filtromat. Para el suministro de dicho flujo, tomando en cuenta los equipos instalados, se estaba requiriendo lo equivalente

al trabajo de un compresor de 100hp, el cual genera hasta 494 CFM trabajando a una presión de 6.7 bar, y teniendo un consumo eléctrico de 74.6 kWh.

Instalando un compresor dedicado de 100hp, pero con generación variable, se podrá cumplir con el requerimiento de flujo de 350 CFM, además de poder suministrar aire comprimido a menor presión, lo cual se reflejará en un menor consumo eléctrico, de aproximadamente un 39% de reducción.

Para planta Norte, el requerimiento de flujo fue de 250 CFM, ya que cuenta con 5 equipos Filtromat. Para el suministro de dicho flujo se estableció un requerimiento de un compresor de 60hp, tomando en cuenta los equipos instalados, el cual genera 290 CFM trabajando a una presión de 6.7bar, teniendo un consumo eléctrico de 44.76 kWh.

Instalando un compresor dedicado de 60hp, se podrá cumplir con el requerimiento de flujo de 250 CFM, además de poder suministrar aire comprimido a menor presión, lo cual se reflejará en un menor consumo eléctrico, de aproximadamente un 33% de reducción.

• **FiltroMat Canadá**

- Actual:
 - compresor 100hp
 - 494 cfms
 - @95pis-6.5Bar
 - 74.6 Kwh
- Propuesta
 - Compresor variable 100hp
 - 100 – 441 cfms
 - @60psi-4.2 Bar
 - 45.53 Kwh
- Beneficio
 - Disminución 29.07 Kwh//39%

• **FiltroMat FAB A**

- Actual:
 - compresor 60hp
 - 290 cfms
 - @95pis-6.5Bar
 - 44.76 Kwh
- Propuesta
 - Compresor variable 60hp
 - 69 - 295 cfms
 - @60psi-4.2 Bar
 - 29.68 Kwh
- Beneficio
 - Disminución 15.08 Kwh//33%

3.2. Comparación de tecnología

Después de revisar las diferentes tecnologías de compresores disponibles para la utilización en los equipos Filtromat en BAT México, se realizó una comparación entre estas, mostrando las ventajas y desventajas que cada una de ellas ofrece. Para esto se tomó en cuenta las necesidades de flujo y presión que requiere cada una de las plantas. Presión de 3 bar, y flujo mínimo de 350 CFM planta Sur y 250 CFM planta Norte. Esto se muestra en la siguiente tabla.


Tecnología	Funcionamiento	Ventaja	Desventaja	Mantenimiento
 Tornillo	Engranajes helicoidales acoplados entre sí.	<ul style="list-style-type: none"> - Libre de aceite. - Durabilidad. - Altas presiones 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo. - Sistema más complejo. 	Medio
 Centrífugo	El aire es aspirado por el centro de la turbina, y las fuerzas centrífugas lo empujan hacia el perímetro de la turbina.	<ul style="list-style-type: none"> - Acoplable en serie. - Alto flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajas presiones. - No libre de aceite. 	Bajo
 De paleta	Un rotor con paletas gira de manera excéntrica en el interior de un cilindro, comprimiendo el aire.	<ul style="list-style-type: none"> - Económico - Mantenimiento sencillo. - Tamaño compacto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajas presiones - Bajo flujo - No libre de aceite. 	Bajo
 Reciprocante	Desplazamiento de un pistón, de manera continua, incrementando en cada ciclo la presión, hasta llegar al valor deseado.	<ul style="list-style-type: none"> - Económico - Mantenimiento sencillo. - Tamaño compacto. - Fácil de transportar 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajas presiones - Bajo flujo - Durabilidad 	Bajo

Tabla 1 Tecnologías

Para el compresor dedicado a las filtromats, se eligió utilizar la tecnología de tornillo, que, aunque tiene un costo de compra y mantenimiento mayor, la durabilidad esta comprobada, al ser la tecnología que actualmente se tiene instalada, además para cumplir con los estándares de calidad de aire que nos pide la regulación de tener el área de compresión libre de lubricantes. Además, al revisar con los diferentes proveedores, la recomendación fue la misma, para las horas de operación, los rangos de presión y flujos requeridos.

3.3. Comparación de marcas

Las 4 marcas analizadas cuentan dentro de su portafolio con equipos que cumplen con los requerimientos de presión y flujo establecidos, más, sin embargo, cada una de ellas ofrece además de la venta de equipos, servicios de instalación, mantenimiento, refaccionamiento y capacitación, por lo que en la se muestran las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

	Pros	Contras
ATLAS COPCO	<ul style="list-style-type: none"> .- Relación con BAT Global .- Proyectos de ahorro energético .- Confiabilidad de equipos .- Oficinas de servicio al cliente en Monterrey 	<ul style="list-style-type: none"> .- No soporte a equipos actuales Kaeser .- Costo de equipo alto .- Costo de mantenimiento alto
INGERSOLL RAND	<ul style="list-style-type: none"> .- Proyectos de ahorro de energía. .- Oficinas de servicio al cliente en Monterrey 	<ul style="list-style-type: none"> .- No relación previa con BAT Global .- No soporte a equipos actuales Kaeser
KAESER	<ul style="list-style-type: none"> .- Relación con BAT Global .- Proveedor actual del mantenimiento. .- Confiabilidad de equipos .- Oficinas de servicio al cliente en Monterrey 	<ul style="list-style-type: none"> .- Costo de refaccionamiento alto .- Adquisición de datos en equipos con costo
KOBELCO	<ul style="list-style-type: none"> .- Precio competitivo .- Mantenimiento a equipos actuales Kaeser. 	<ul style="list-style-type: none"> .- No hay oficinas servicio al cliente en Monterrey .- Calidad de equipos sin comprobar.

Tabla 2 Marcas de compresores

Después de analizar las ventajas y desventajas de las 4 marcas, así como revisando el catálogo de productos que ofrece y obteniendo cotización de algunos de ellos, se optó por la opción de KAESER, ya que, junto con Atlas Copco, son las 2 marcas de las cuales obtuvimos mejor respuesta y referencia al hacer *benchmark* con otras empresas del grupo. También se optó por KAESER debido a que el precio era menor al de Atlas Copco, y a que actualmente los demás equipos compresores son de dicha marca, por lo que continuar con la marca ayuda a no incurrir en un gasto mayor por mantenimiento.

3.4. Otros beneficios

Además de obtener beneficios al disminuir la presión de operación y por ende obtener una disminución en el consumo eléctrico para la generación de dicho flujo, con la adquisición de un compresor independiente se estará renovando una parte de los equipos compresores actuales, puesto que la mayoría cuenta con más de 10 años, por lo que el activo ya fue depreciado en su totalidad. Además, al pasar los 10 años, los costos por mantenimiento preventivo y correctivo incrementan, por lo que se obtendrá una disminución en el gasto destinado a este rubro.

Otro beneficio será que, al tener una línea independiente, futuras reconfiguraciones internas de la planta podrán llevarse a cabo sin la limitante de tener que hacer adecuaciones de las líneas de alta presión respecto a la posición del área de filtros.

3.5. Soporte económico

Una vez analizadas las diversas tecnologías a utilizar, así como el proveedor a elegir, se llevó a cabo un análisis de los beneficios económicos del proyecto, tomando en cuenta el modelo de equipo a adquirir, el consumo eléctrico del mismo y el costo del kWh actual.

Se realizó el análisis comparando el costo y beneficio de adquirir un equipo con tecnología variable y uno de compresión normal, tanto para la planta Sur como para la planta Norte. En el análisis se tomó en cuenta que en BAT México se contaba con un equipo de 60 hp funcional pero no instalado, por lo que se optó por utilizarlo para planta Norte.

Planta Sur								Costo kWh
Escenario	KWh Carga	KWh Carga Anual	Costo EE Anual	% Dif	ahorros	Inversion Equipos	Instalacion	
Actual	74.60	474,456	\$ 996,358	0%	\$ -	-	-	2.1
Compresor normal	57.63	366,527	\$ 769,706	-23%	\$ 226,651	\$ 1,141,740	\$ 200,000	
Compresor Variable	45.53	289,571	\$ 608,099	-39%	\$ 388,259	\$ 1,530,260	\$ 200,000	

Planta Norte							
Escenario	KWh Carga	KWh Carga Anual	Costo EE Anual	% Dif	ahorros	Inversion Equipos	Instalacion
Reparar actual	44.76	284,674	\$ 597,815	0%	\$ -	-	112,961
Compresor normal	34.91	222,028	\$ 466,258	-22%	\$ 131,557	\$ 806,100	\$ 150,740
Compresor Variable	29.68	188,765	\$ 396,406	-34%	\$ 201,408	\$ 1,176,540	\$ 150,740

	KWH	Ahorro EE Anual	Inversion
Ahorro Total CV	280,794	\$ 589,667	\$ 3,057,541
Ahorro Total CV y CN	247,531	\$ 519,816	\$ 2,687,101
Ahorro Total CN y CV	203,838	\$ 428,060	\$ 2,669,021
Ahorro Total CN y CN	170,575	\$ 358,208	\$ 2,298,581
Ahorro Total CV y CR	247,531	\$ 519,816	\$ 1,843,221

Tabla 3 Inversión

Se determina que el mayor ahorro se obtendría con la adquisición de 2 compresores variables, 280,794 kWh anuales, más sin embargo la inversión sería de \$3,057,541 Mxn. La opción con el segundo mayor ahorro se da al comprar un compresor variable de 100hp y reutilizando el de 60hp de generación normal. El ahorro eléctrico sería de 247,531 kWh, un 13% menor contra la opción de comprar nuevos, y tendría una inversión de \$1,843,221 Mxn, lo que es 65% menor que la primera opción, por lo que se elige el comprar un compresor y reutilizar el actual de 60hp.

Una vez determinado el monto de inversión, se realiza un análisis financiero para validar la viabilidad del proyecto tomando en cuenta los siguientes requisitos de la compañía:

- Taxas: 30%
- Interés: 6.5%
- Payback < 5 años

Business Case Template

Data @ Th Mxn

Tax Rate	30%	NPV	86,761.2
Interest Rate	6.50%	ROI	4.7%
Mes de Implementación	0	Payback	4.8

Comments	0	1	2	3	4	5	FY
Investment	-1,843,221						-1,843,221
Write Off / Impairments							0
Costs	0	-209,322	-210,947	-212,678	-214,521	-216,484	-1,063,952
Repairs & Maintenance		-25,000	-26,625	-28,356	-30,199	-32,162	-142,341
Depreciation 10 years		-184,322	-184,322	-184,322	-184,322	-184,322	-921,611
Benefits	0	529,815	563,603	639,587	677,910	678,725	3,089,640
Repairs & Maintenance		10,000	10,000	50,000	50,000	10,000	130,000
Utilities Electricity		519,815	553,603	589,587	627,910	668,725	2,959,640
Net Benefit / Cost	-1,843,221	504,815	536,978	611,232	647,712	646,563	1,104,078
P&L	0	320,493	352,656	426,909	463,389	462,241	2,025,688
Tax	0	-96,148	-105,797	-128,073	-139,017	-138,672	-607,707
Cashflow	-1,843,221	408,667	431,181	483,159	508,695	507,891	366,371
Cashflow Cumulative	-1,843,221	-1,434,554	-1,003,373	-520,214	-11,519	496,371	862,743
Payback Period	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	4.0
NPV	-1,843,221	383,725	380,155	399,982	395,420	370,700	86,761
Cumulative	-1,843,221	-1,459,496	-1,079,341	-679,359	-283,938	86,761	173,522
Payback Period	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	4.8
ROI							4.7%

Tabla 4 Análisis financiero

Se determina que el proyecto cumple con la política económica de la empresa al obtener un payback de 4.8 años, así como un retorno de inversión (ROI) de 4.7%.

Capítulo 4. Resultados

4.1. Compra e Instalación

Una vez realizado el análisis de tecnologías y de elección del proveedor, se procedió con el trámite interno para la asignación del presupuesto, así como con el proceso de licitación, para buscar obtener un mejor precio, un menor tiempo de entrega, y coordinar la llegada de los equipos con la instalación de estos.

La llegada de los equipos se llevó a cabo en diciembre 2019, posterior a esto se procedió con la adecuación del lugar para la instalación, y la interconexión de los nuevos ramales de distribución. La instalación de los equipos se realizó durante el mes de enero, y durante las primeras semanas de febrero se realizaron las pruebas correspondientes. El 17 de febrero los equipos fueron liberados para operación continua.

4.2. Consumo eléctrico

Durante el año 2019, en BAT México se llevó a cabo un proyecto de instalación de medidores de consumo eléctrico, el cual fue concluido a finales de año. Esto abrió la posibilidad de poder llevar mejor control y registro del consumo que estaban teniendo los equipos, vs la demanda requerida para producir.

Para poder determinar la disminución en el consumo eléctrico al independizar el sistema para transporte de filtros, se llevó a cabo el monitoreo del consumo eléctrico de la línea principal de aire comprimido y la medición de cigarrillos producidos totales para realizar una comparación previa y posterior a la instalación.

Para esta medición, se utilizó la herramienta de medición instalada, de nombre Energy Metrix, con la cual se generaron reportes semanales y mensuales de seguimiento.

Consumo Diario vs Acumulado Aire SMD Sur 10/1/2020 12:00 AM a 11/1/2020 12:00 A

Time Zone: (UTC-06:00) Guadalajara, Mexico City, Monterrey

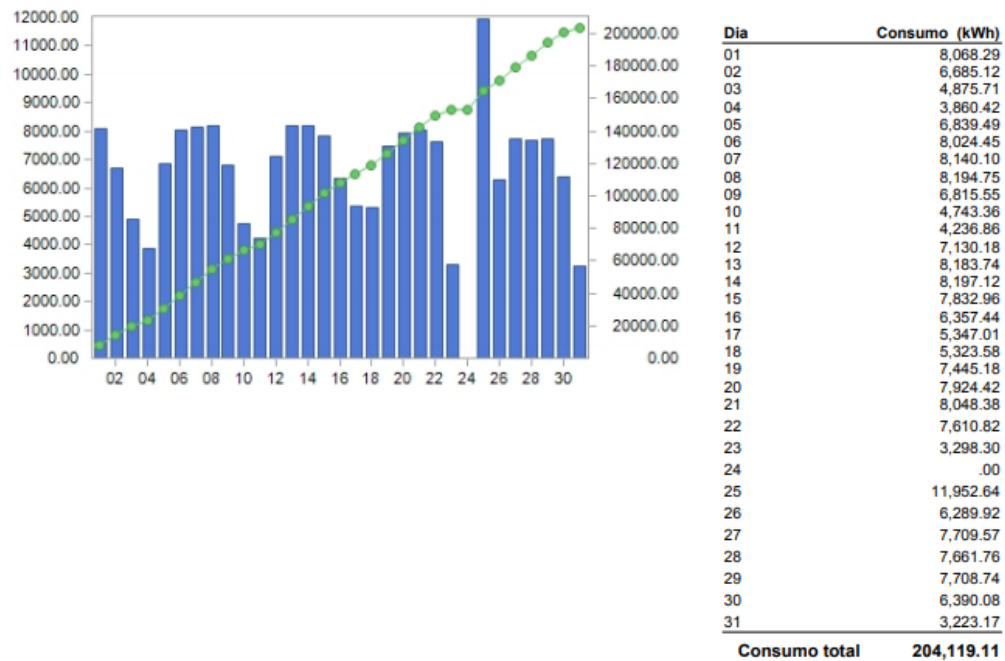


Ilustración 23 Consumo mensual AC

Se tomó como referencia el mes de enero, puesto que no se tenía una mayor información de consumo de dicha área del año anterior, y se graficó la relación de kWh consumidos vs los cigarrillos producidos de los siguientes meses, obteniendo un valor de eficiencia de kWh por cada mil cigarrillos.

	Enero	Febrero	Marzo	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct
kWh AC	153,691	117,099	135,163	99,653	180,900	212,490	262,260	252,197	272,554
MCigarrillos	1,104	1,064	1,714	1,073	1,755	1,973	2,128	2,299	2,326
Eficiencia	139	110	79	93	103	108	123	110	117

Tabla 5 Consumo y producción mensual

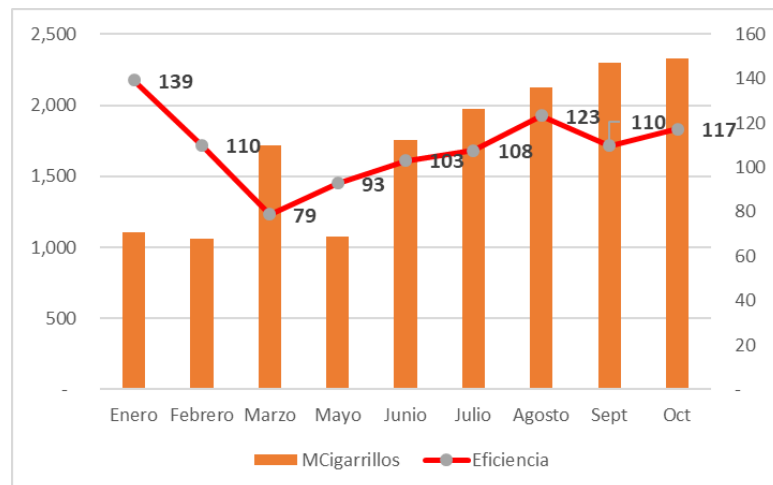
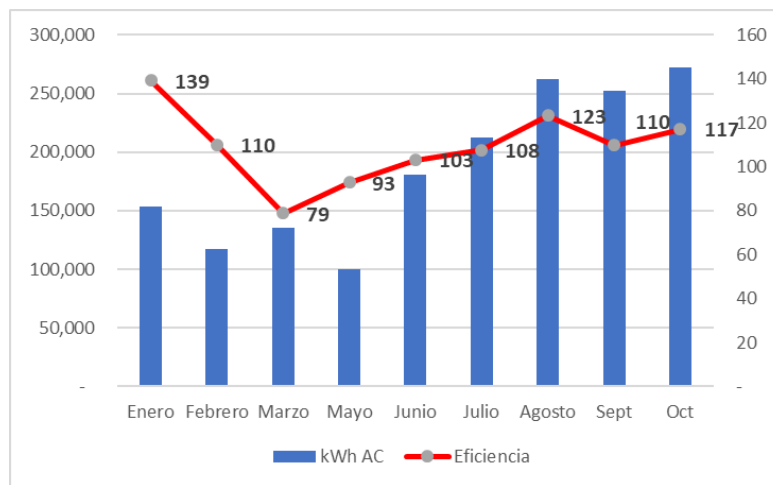


Ilustración 24 MCigarrillos, kWh y eficiencia

Se analizan los valores de consumo eléctrico y de producción de cada mes, determinando que existe variables que impiden determinar el beneficio directo de un mes a otro.

- Paro de producción por COVID
- Cambios constantes de formato para cumplir con desabasto
- Retraso de pruebas de nuevos productos, reanudando en segunda mitad del año
- Instalación y pruebas de nuevos módulos de producción.

Tomado como referencia el mes de enero, se observa una disminución en la cantidad de kWh utilizados para la generación de aire comprimido necesario para la producción de cigarrillos. Se determina continuar con el monitoreo de estos valores, así como se plantea la opción de adquirir un nuevo medidor de aire comprimido para instalar en el número compresor, y así determinar la cantidad exacta de CFM utilizados, y obtener la relación directa del costo.

Finalmente se realiza prueba de desempeño en compresor, la cual se utiliza para determinar los CFM generados por cada kW consumido, obteniendo los siguientes resultados.

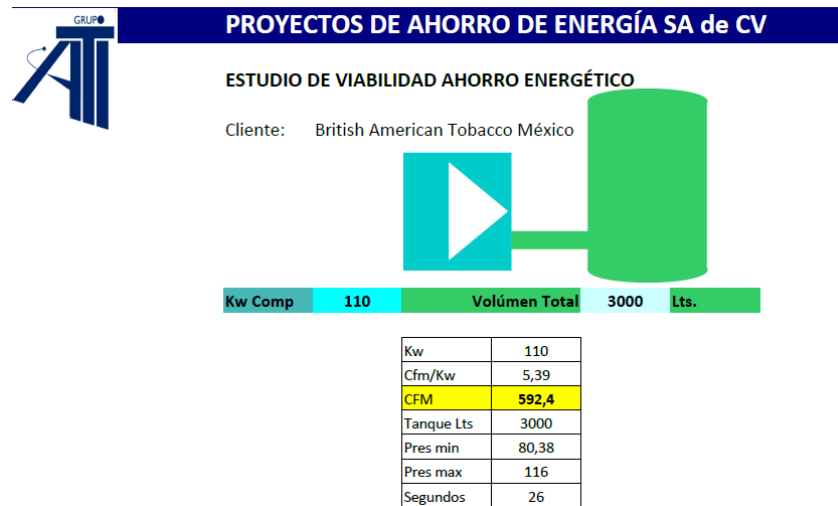


Ilustración 25 Estudio energético compresor

Dichos resultados arrojan que por cada kw consumido se generan 5.39 cmfs, lo cual entra dentro de un rango aceptable al ser mayor a 5.2, que es lo que nos pide el estándar de BAT a nivel global.

4.3. Proyección a futuro

Como parte de la continuidad del proyecto, se continuará con la medición del consumo eléctrico del mismo, y se realizará un análisis de las horas trabajadas en los últimos meses, así como una proyección de los meses siguientes, esto para poder estimar un presupuesto para el mantenimiento del equipo y realizar la comparación contra lo requerido con un equipo de más de 10 años, donde se espera de igual forma obtener beneficios económicos.

Derivado de una reconfiguración interna de las áreas de producción, y gracias a la capacidad variable del equipo instalado en planta Sur, este podrá suministrar aire comprimido a una mayor cantidad de equipos, adecuándose a la diferente demanda que habrá debido a los movimientos a efectuarse.

Capítulo 5. Conclusión

La mejora continua y la innovación son los elementos más importantes en toda empresa, donde se debe aprender a adaptarse a los cambios del mercado, así como buscar siempre innovar para ser los primeros ya sea en la creación de un producto o servicio.

Los proyectos de ahorro de energía cada vez toman más importancia a nivel mundial, donde los gobiernos imponen sanciones más duras, y las empresas destinan más recursos con el fin no solo de cumplir con la reglamentación, sino para ser vista como empresa responsable con el medio ambiente, y mejorar la reputación ante la sociedad.

Se logró identificar una oportunidad en la forma de operar, que, si bien no era un problema o defecto, si era un área de oportunidad que nos ayudaba a disminuir los gastos de operación, y que nos permitía adaptarnos de mejor manera a los cambios de producción venideros.

El trabajo en equipo fue parte fundamental para este proyecto, desde compartir información con otras operadoras de BAT que utilizan equipos similares, hasta el revisar con los diferentes proveedores los equipos que manejan y los valores de operación de cada uno de ellos. Se comprendió de mejor manera el cómo funcionan los sistemas de generación de aire comprimido, y se logró identificar mejoras potenciales en nuestros sistemas actuales, lo cual abre la ventana a nuevos proyectos y futuros beneficios para la organización, los cuales a su vez puedan ser replicados en otras operadoras.

A su vez, el proyecto se llevó a cabo con resiliencia, derivado de los problemas de salud que han afectado a todo el mundo, tanto de manera personal, como en el ámbito laboral, al tener que ajustar la forma de trabajar de todos, pero sin perder el enfoque de hacerlo bien y de la mejor manera.

Como recomendaciones a futuro, sería el realizar más benchmarking con las demás operadoras y con compañías que tengan procesos similares, para incrementar el conocimiento de los sistemas de trabajo y así poder tomar no solo las buenas ideas, sino el poder generar nuevas formas de trabajo que después puedan ser replicados por los demás. Realizarlo con trabajo interdisciplinario para obtener diferentes formas de ver las cosas, y tener bien en claro los factores de riesgo que puedan impedir la realización del proyecto, para estar bien preparados ante cualquier situación.

6. Referencias

1. PARKER. (2018). *Introduction to ISO Compressed Air Quality Standards*, Recuperado: <https://www.parker.com/Literature/Hiross%20Zander%20Division/PDF%20Files/PIS/WPISOCAQ-04-EN.pdf>
2. ATLAS COPCO. (2020). *Compresores dinámicos: compresores centrífugos y axiales*, Recuperado: <https://www.atlascopco.com/es-mx/compressors/wiki/compressed-air-articles/dynamic-compressors>
3. HAUNI. (2020). *The heart of the production*. Recuperado: <https://www.hauni.com/en/products/secondary/>
4. ATLAS COPCO. (2020). *ISO 8573-1, ¿Cómo interpretamos la norma?* Recuperado: <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/iso-8573-1-como-interpretamos-la-norma>
5. KAESER. (2020). *Productos y soluciones*. Recuperado: <https://mx.kaeser.com/productos-y-soluciones/>
6. KAESER. (2020). *Designing your compressed air system*. Recuperado: <https://mx.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:50-37763>
7. INGERSOLL RAND. (2020). *AIR COMPRESSORS*. Recuperado: <https://www.ingersollrand.com/en-us/air-compressor.html>
8. KOBELCO (2020). *COMPANY OVERVIEW*. Recuperado: <http://www.kobelcocompressors.com/index.php/company-overview>
9. OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. (2004). *Energy Tips – Compressed air*. Recuperado: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f16/compressed_air11.pdf
10. ELSEVIER. (2020). *Energy management of compressed air systems. Assessing the production and use of compressed air in industry*. Recuperado: <https://www.journals.elsevier.com/energy>
11. ELSEVIER. (2018). *Linking energy efficiency measures in industrial compressed air systems with non-energy benefits*. Recuperado: <https://www.journals.elsevier.com/energy>
12. SOLUTIONS AIR HANDLING SYSTEMS. (2020). *Compressed air audit optimizes efficiency*. Recuperado: <https://0-eds-a-ebSCOhost-com.biblioteca-ils.tec.mx/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=42d03c2a-01d9-4edd-9f6b-f7f3fd038e02%40sdc-v-sessmgr01>
13. ENERGIES. (2019). *Real Time Energy Performance Control for Industrial Compressed Air Systems: Methodology and Applications*. Recuperado: <https://0-eds-a-ebSCOhost-com.biblioteca-ils.tec.mx/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=3331d909-1a78-4a78-abf1-6f7aa5f0fac0%40sessionmgr4008>
14. DIGITAL EXCLUSIVE. (2013). *Five reasons why aluminum piping makes sense for compressed air systems*. Recuperado: <https://0-eds-a-ebSCOhost-com.biblioteca-ils.tec.mx/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=77a2845c-05c2-490d-b08f-34948d441f8c%40sdc-v-sessmgr02>
15. KAESER COMPRESSORS. (2020). *Aluminum Compressed Air Piping*. Recuperado: https://us.kaeser.com/products-and-solutions/compressed-air-piping/?source=kaesernews&utm_medium=pr&utm_campaign=PR_SmartPipe+