

Análisis de Demanda de Aire



Oficina:

Compresores Industriales de Veracruz

Analizado por:

- **Objetivo del Análisis.**

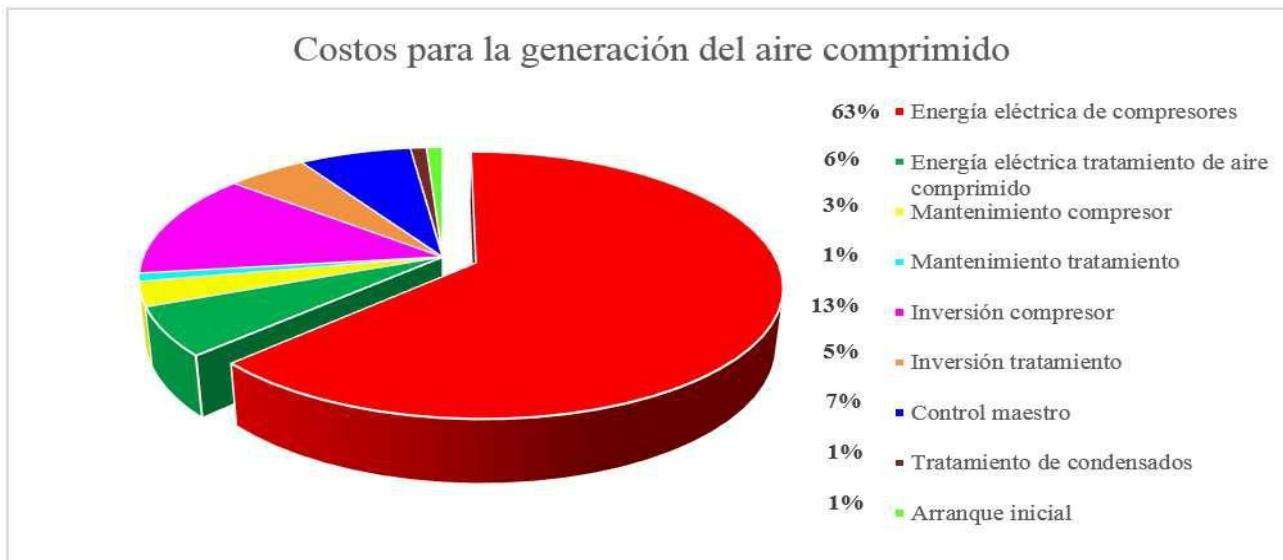
Determinar la demanda actual de aire comprimido de la planta y calcular el costo energético por la generación de aire comprimido de la estación actual.

- **Introducción.**

Los costos asociados para la generación de aire comprimido son:

1. **Inversión inicial e instalación de equipos.**
2. **Costos de mantenimiento.**
3. **Consumo de energía eléctrica.**

Durante los 10 primeros años de funcionamiento de un compresor de tornillo, el 63% del costo total de generación de aire comprimido corresponde al consumo de energía eléctrica, el resto a la adquisición del sistema de generación, tratamiento, instalación y los costos de mantenimiento.

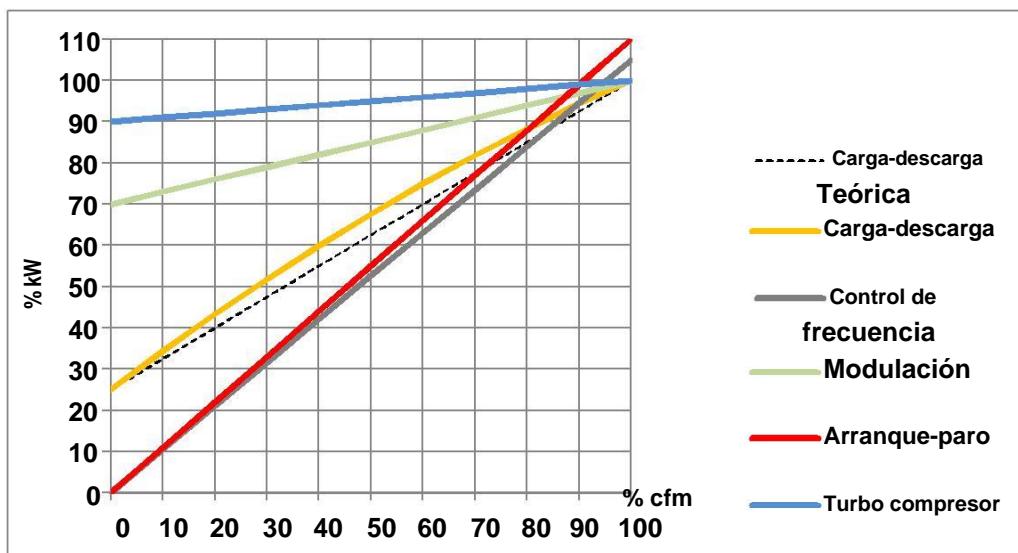


Gráfica 1: Costos para la generación del aire comprimido en 10 años de operación.

Son muchas las variables que afectan el consumo de energía eléctrica en su sistema de generación de aire comprimido, de ellas, las más importantes son:

- La forma en que regula la presión el compresor o tipo de control (Dual, Modulación, Velocidad Variable).
- El consumo de energía eléctrica del compresor a plena carga.
- El consumo de energía eléctrica del compresor en descarga o vacío.
- Temperatura y presión atmosférica de la estación de aire comprimido.
- La presión de operación de la estación de aire comprimido.
- Eficiencia de los componentes mecánicos y eléctricos de cada equipo que forma el sistema de generación de aire comprimido.
- Configuración del sistema de tratamiento para aire comprimido.
- Diseño de la red de neumática.

A continuación se comparte el comportamiento del aire comprimido generado y la energía eléctrica consumida por un compresor con distintos tipos de sistemas de regulación de presión.



Gráfica 2: Comportamiento del consumo de potencia a diferentes porcentajes de carga con diferentes tipos de control.

- **Procedimiento.**

Empleando las siguientes opciones para el registro de información y en conjunto con los datos de fábrica de los compresores instalados y utilizando un software de simulación KESS, KAESER Energy Savings System, calculamos el costo anual de energía eléctrica considerando el costo actual de la planta por kWh de US\$ 0.08 /kWh.

Con la instalación de “DATA LOGGERS”/ADA 4.0 (Analizador de Demanda de Aire de KAESER) a cada compresor que se encuentra instalado en la planta en ellos registramos si el equipo está en marcha o no, si comprime o no; si incluye un control por modulación, el porcentaje de carga parcial del compresor, así como la presión de operación del sistema de aire comprimido.

En el estudio realizado, los datos registrados fueron del periodo del viernes, 31 de enero de 20__ al jueves, 06 de febrero de 20__ y es la información considerada para determinar el consumo de energía eléctrica anual, asumiendo que la demanda de aire comprimido se comporta con el mismo perfil durante el año.

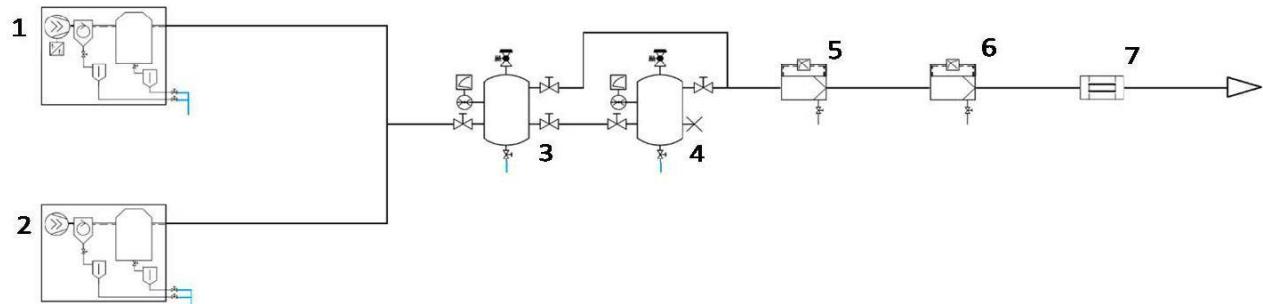
- Los compresores registrados durante el Análisis de Demanda de Aire fueron:

Marca	Modelo	Sistema para enfriar	Tipo de control	Potencia nominal [hp]	Presión de operación [psig]	Entrega Datos de placa [cfm FAD*]	Carga promedio [cfm FAD*]	% en carga
KAESER Compresores	SFC 18S T	Aire	Control de frecuencia	25	55 - 111	113.36	103	91%
KAESER Compresores	AS 20 T	Aire	Carga descarga	20		92	91	99%
		Total		45		205.36		

*cfm FAD: (Cubic Feet per Minute Free Air Delivery) Aire libre entregado a presión atmosférica 14.5 psi, 0% de humedad relativa y temperatura ambiente de 68 °F.

Tabla 1: Compresores registrados durante el análisis de demanda de aire comprimido.

- **Diagrama P&I. Estación actual.**



- 1.- Compresor de tornillo lubricado con secador refrigerativo integrado y controlador de frecuencia SFC 18S T.
- 2.- Compresor de tornillo lubricado con secador refrigerativo integrado y control carga-descarga AS 20 T.
- 3.- Tanque de almacenamiento de aire comprimido de 500 litros.
- 4.- Tanque de almacenamiento de aire comprimido de 1000 litros.
- 5.- Filtro para remoción de partículas de aceite KOR 250.
- 6.- Filtro para remoción de partículas KPF 250.
- 7.- Filtro para remoción de vapores de aceite KVF 250.

- **El costo de la energía durante el periodo de registro del sistema actual.**

Con el comportamiento de la demanda de aire registrado durante el estudio y asumiendo ese mismo comportamiento todo el año, el costo calculado del consumo anual de energía eléctrica del cuarto de compresores es de US\$ 18,554.17/año, con una potencia específica de 21.28 kW/100 cfm FAD.

- **Análisis de la Demanda de Aire.**

La estación actual consume en total 231,927 kWh/año. La generación de esta energía es equivalente a una huella de carbono de 115 toneladas de CO2 que se vierten al medio ambiente como contaminante y es nuestro objetivo el ayudar a reducir esta afectación.

El aire comprimido consumido por la planta con el perfil de demanda registrado es de 65,391,615 cf FAD/año (pies cúbicos al año).

- **Análisis de la estación actual.**

La presión requerida en el aire comprimido en punto de uso es de 85 psig, la presión mínima registrada en el punto de uso registrado fue de 55 psig, (Ver archivo anexo I, pág., 7).

La máxima caída de presión con el máximo valor de flujo fue de 78 psig con 205 cfm FAD. Para mantener la presión estable en 85 psig, es necesario un flujo total de 220 cfm FAD. (Ver archivo anexo I, pág., 2).

Durante el estudio se registraron periodos con baja presión por falta de capacidad de flujo de la estación de compresores, la demanda de flujo del aire comprimido supera la capacidad de la estación actual y se presenta baja presión de hasta 78 psig (Ver archivo anexo I, pág., 2).

Durante el estudio se registraron periodos con baja presión debido al ajuste incorrecto de presión de operación en compresores, lo cual genera una presión por debajo de la presión requerida de 85 psig en punto de uso. Esto provoca baja eficiencia en máquinas neumáticas. (Ver archivo anexo I, pág., 7).

La baja presión provoca que al aire comprimido fluya a alta velocidad por filtros y secador disminuyendo la eficiencia de separación del sistema de tratamiento de aire comprimido y reduciendo el tiempo esperado de servicio de los cartuchos coalescentes.

Compresor equipado con control de frecuencia operando por arriba del 80% de su capacidad, demandan mayor cantidad de energía por el consumo del compresor más el control de frecuencia. Eleva los costos de producción de aire comprimido. (Ver archivo anexo I, pág., 6).

La cantidad de lubricante aportado, como contaminante en el aire comprimido, por compresores actuales lubricados considerando 3 ppm de aceite remanente en el aire comprimido después del cartucho separador aire-aceite instalado dentro del compresor, 6.54 litros de lubricante por año.

Los condensados atrapados por los tanques llegan a cierto nivel y son arrastrados por el flujo del aire comprimido debido a que los tanques no cuenta con dren automático de condensados. El volumen disponible para almacenar aire en los tanques, también es reducido por la acumulación de condensados.

La estación de compresores no cuenta con un sistema de tratamiento ecológico de condensados, los condensados son enviados directamente al drenaje.

Existen fugas en el sistema de aire comprimido, la presión desciende después de apagar los compresores. (Ver archivo anexo I, pág., 3).

La estación de aire comprimido no cuenta con válvula de control de presión y flujo, provocando que al inicio del llenado de la tubería con aire comprimido a baja presión el aire comprimido fluya a alta velocidad por filtros y secador disminuyendo la eficiencia de separación del sistema de tratamiento de aire comprimido y reduciendo el tiempo esperado de servicio de los cartuchos coalescentes.

No hay compresor ni equipo de tratamiento de aire de respaldo para cubrir cualquier eventualidad que se presente en el equipo actual.

- Propuesta para cubrir la demanda total de aire comprimido.
- Corrección de caídas de presión.

Para corregir los valores de presión registrados durante el periodo del viernes, 31 de enero de 20__ al jueves, 06 de febrero de 20__ a la presión requerida de 85 psig, es necesario incrementar el flujo de aire a 220 cfm FAD.

Presión requerida [psig]	85
Presión actual [psig]	78
Flujo máximo [cfm FAD]	205
Capacidad de la estación [%]	100
Flujo adicional requerido [cfm FAD]	15
Flujo total requerido [cfm FAD]	220

Tabla 2: Corrección de presión por incremento de flujo en la estación de compresores.

- Estación propuesta, integrada por los equipos descritos en la siguiente tabla, conectados a un controlador maestro SAM 4.0.

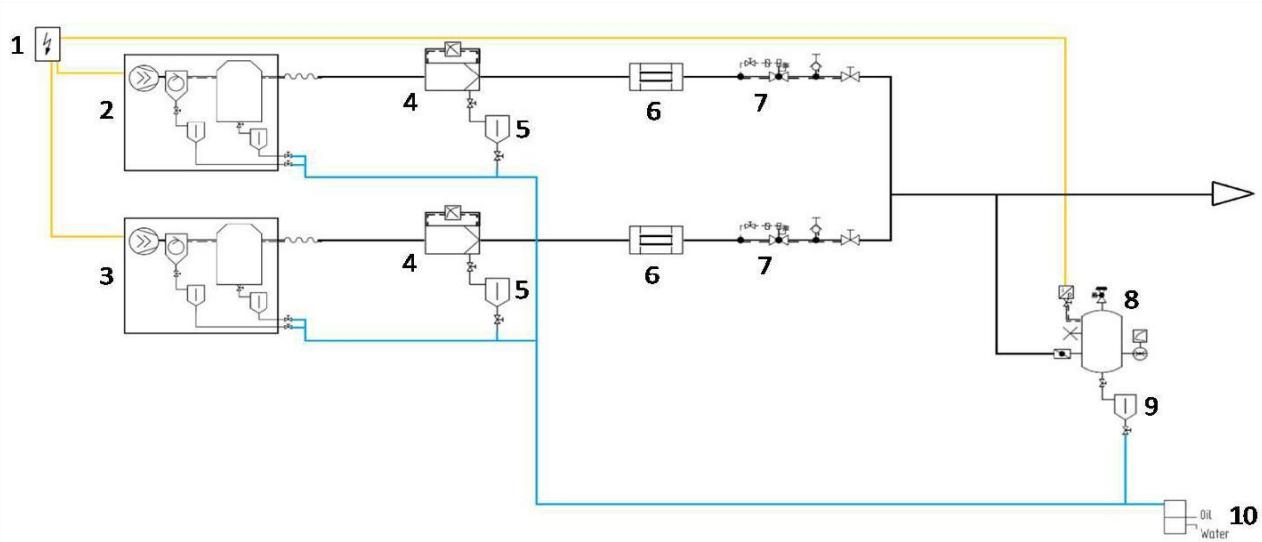
Grupo	Marca	Modelo	Tipo de control	Sistema para enfriar	Potencia Nominal [hp)	Entrega Datos de placa [cfm FAD*]	Control Maestro
Operación	KAESER Compresores	AS 20 T	Carga descarga	Aire	20	99	SAM 4.0
Respaldo	KAESER Compresores	AS 20 T	Carga descarga	Aire	20	99	
				Total sin respaldo	20	99	
				Total con respaldo	40	198	

*cfm FAD: (Cubic Feet per Minute Free Air Delivery) Aire libre entregado a presión atmosférica 14.5 psia, 0% de humedad relativa y temperatura ambiente de 68 °F.

Tabla 3: Estación de compresores propuesta, con corrección de presión.

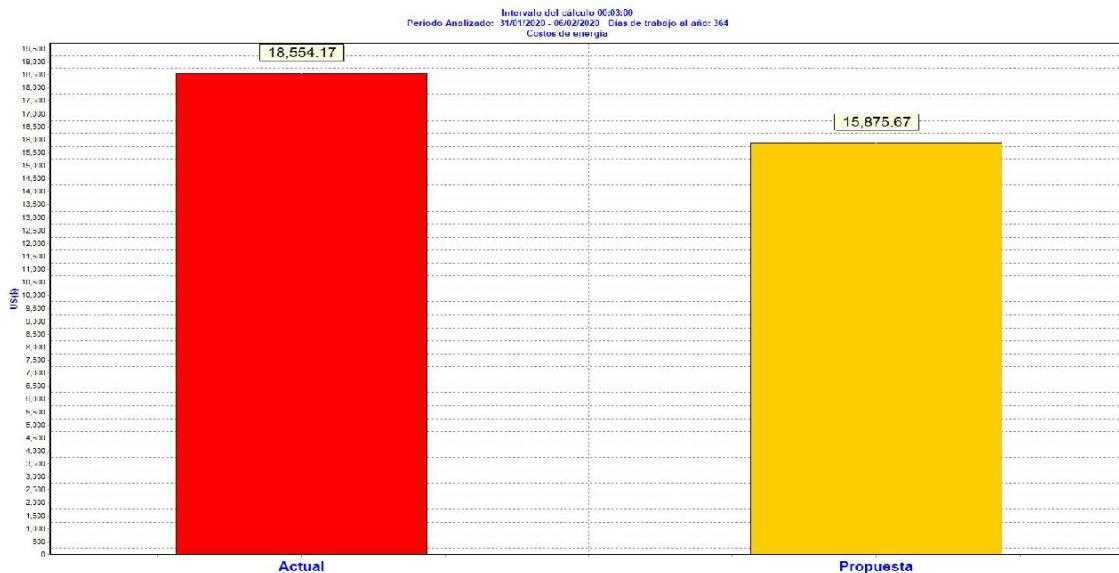
La estación propuesta tiene la capacidad para suministrar un flujo total de 392 cfm FAD para corregir los valores de presión registrados durante el periodo del viernes, 31 de enero de 20__ al jueves, 06 de febrero de 20__ a la presión requerida de 85 psig requerimos 220 cfm FAD. En este escenario la estación propuesta tiene un porcentaje de utilización de casi el 602%. Aquí no está considerado el flujo adicional con los nuevos actuadores que se deben tener para dicha área, por lo que con ello se asegura la correcta operación en términos de flujo y presión.

• Diagrama P&I. Estación propuesta.



- 1.- Control Maestro Sigma Air Manager 4.0.
- 2.- Compresor de tornillo lubricado con secador refrigerativo integrado y control carga-descarga BSD 50 T.
- 3.- Compresor de tornillo lubricado con secador refrigerativo integrado y control carga-descarga BSD 50 T (respaldo).
- 4.- Filtro para remoción de partículas de aceite F83KE.
- 5.- Dren automático de condensados Eco Drain 31 F.
- 6.- Filtro para remoción de vapores de aceite F184KA.
- 7.- Sistema de mantenimiento de presión DHS de 1 1/2" NPT.
- 8.- Tanque de almacenamiento de aire comprimido 3000 litros.
- 9.- Dren automático de condensados Eco Drain 31.
- 10.- Tratamiento de condensados KCF 200.

- **Costo anual del consumo de energía eléctrica durante el periodo de registro de la estación propuesta.**



Gráfica 3: Comparativo del costo anual de consumo de energía eléctrica entre la estación actual y la estación propuesta.

El costo calculado del consumo anual de energía eléctrica para cubrir el requerimiento actual de aire comprimido con corrección de presión de la estación propuesta descrita en la Tabla 3 es de US\$ 15,875.67/año, con una potencia específica de 18.27 kW/100 cfm FAD.

La estación propuesta consumiría 198,445.92 kWh/año. La generación de esta energía produciría 99 toneladas de bióxido de carbono que se dispersarían en el medio ambiente como contaminante.

Datos sólo de referencia para comparación de la estación actual y la estación propuesta. El consumo real de la estación propuesta es mayor por el excedente de aire comprimido necesario para corregir el problema actual de baja presión.

- **Funciones y tipo de control.**
- **Sigma Air Manager (SAM 4.0) para la secuencia y operación de los equipos.**

1.- Organizar la operación de los sistemas de aire comprimido de KAESER. Como resultado, la estación de compresores entrega la cantidad requerida de aire comprimido para adaptarse a las necesidades de la planta, con el máximo rendimiento.

2.- Mostrar el diagrama P&I de la estación de compresores con indicadores sobre el estado de operación en tiempo real de cada uno de los componentes conectados al sistema.

3.- Almacenar todos los datos de operación y el cálculo del consumo de energía de la estación de compresores para entregarlos de acuerdo a la norma ISO 50001, que tiene como objetivo mantener y mejorar el sistema de gestión de energía en la organización.

4.- Servicio de consulta de información de la estación desde cualquier dispositivo con acceso a Internet, siempre y cuando el SAM 4.0 esté conectado a una red de Internet.

5.- Conexión segura, solamente los usuarios autorizados por medio de la interfaz RFID pueden modificar los parámetros de funcionamiento.

Ver archivo anexo II para ver la secuencia de operación de la estación de compresores de la propuesta trabajando con el SAM 4.0.

- Cuadro resumen de estación actual y estación propuesta

La siguiente tabla compara la estación actual y la estación propuesta.

	Estación Actual			Propuesta*	
				Sin respaldo	Incluye respaldo
Potencia total instalada (hp).	45			50	100
Capacidad de flujo de la estación (cfm FAD).	205.36			236472	
Costo de kW/hr (US\$).	0.08				0.08
Consumo energético(kWh/año).	231,927.08				198,445.92
Costo energético (US\$/año).	18,554.17				15,875.67
Ahorros totales costos de energía (US\$/año).	0.00				2,678.50
Potencia máxima consumida (kW).	41.88				37.43
Potencia específica (kW/100 cfm).	21.28				18.27
Costo específico (US\$/ cf).	0.000283739				0.000242778
Demanda anual cf FAD/año.	65,391,615.30				65,391,615.30
Porcentaje de ahorros energéticos.	0%				14.4%

* Propuesta: para cubrir la demanda total de aire comprimido requerido por la estación

Tabla 4: Comparativo entre la estación actual y la propuesta para mejorar la generación de aire comprimido.

- **Almacenamiento de aire comprimido**

El dimensionamiento correcto del tanque evita exceder el número de arranques o ciclos de carga - descarga máximos de cada compresor y asegura cumplir con las especificaciones de los motores eléctricos en los equipos de compresión.

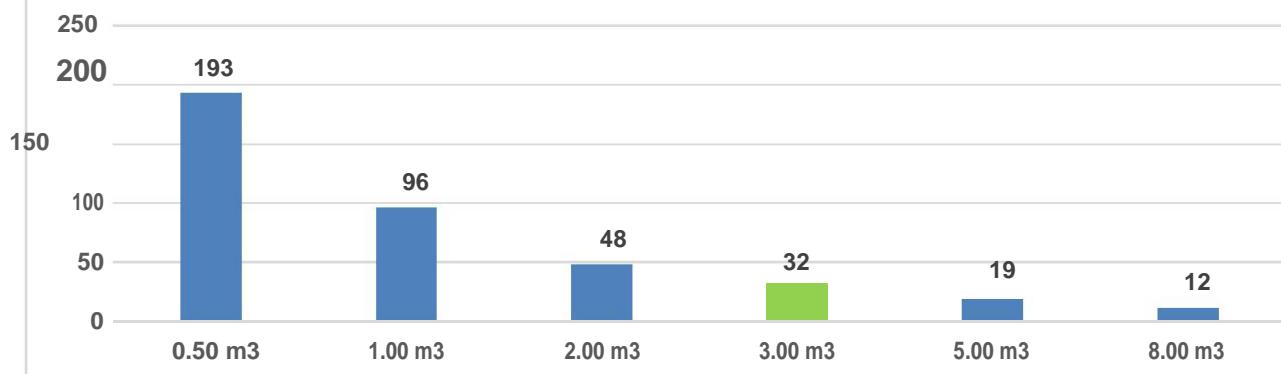
VR = Volumen del tanque en m³ para compresores

Sistema Sistema inglés	Sistema internacional	
10	0.69	D _p = Presión diferencial [psig]
36	36	Z = Número de ciclos máximos permitidos por hora
236		Compresor [cfm FAD]
1.00		Factor de corrección [%]
236	401.02	V ₁ = compresor [cfm FAD]
186	316.81	V ₂ = demanda [cfm FAD]
	2.68	D _F = V ₂ / V ₁
		m ³ . Si desconoce V ₂ : V ₂ = V ₁ / 2, caso crítico
VR = V₁ x (D_F - D_F²) / (Z x D_p)		

Tabla 5: Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento de aire comprimido.

En función al volumen del tanque de almacenamiento, el número de ciclos carga-descarga por hora se comporta de la siguiente manera:

Ciclos carga-descarga/hr del compresor en función al volumen del tanque en m³



Gráfica 4: Ciclos del compresor en función al volumen del tanque de almacenamiento de aire.

En este caso, se propone utilizar dos tanques de 3000 litros para cubrir con el almacenamiento requerido y no exceder el número máximo de ciclos permitidos por el compresor.

- **Tratamiento del aire comprimido.**

El aire atmosférico aspirado por el compresor contiene diferentes contaminantes como son partículas de polvo, vapores de aceite, aerosoles, vapor de agua. Para evitar daños en máquinas y herramientas neumáticas es necesario tratar el aire comprimido con secadores y filtros.

Aire ambiente		2. Secado	
Caudal	236 cfm	Corriente capacitiva de la operación	31.89 cfm
Temperatura ambiente	95 °F	La presión de desecador punto de rocío (-112°F .. +104°F)	40 °F
Presión ambiente absoluta	13.28 psi	Punto de rocío atmosférico	-2.2 °F
Humedad relativa	50 %	Presión absoluta	98.28 psi
Humedad máxima	39.286 g/m³	Humedad relativa	100 %
Cantidad de agua	2.08 gal/h	Humedad máxima	6.359 g/m³
1. Primera compresión		Cantidad de condensado / hora	
Corriente capacitiva de la operación	31.89 cfm	Condensado total	0.84 gal/h
Temperatura de salida de aire comprimido (máx. 212°F °C tras refrigerador final de aire comprimido)	113 °F	Cantidad de condensado / hora	1.99 gal/h
Presión absoluta	98.28 psi	Horas de carga máxima / día	1 h
Humedad relativa	100 %	Cantidad de condensado por día	1.99 gallon
Humedad máxima	64.848 g/m³	Cantidad de condensado por año	726.35 gallon
Cantidad de condensado / hora	1.15 gal/h		

Tabla 6: Cálculo de generación de condensados en cada componente del sistema de aire comprimido.

Para la eliminación de 1.15 gal/h de agua en el aire comprimido, es necesario hacer una separación mecánica del agua condensada por los compresores con separadores de líquidos equipados con drenes automáticos eficientes.

Posteriormente eliminar 0.84 gal/h de agua en forma de vapor hasta una temperatura de punto de rocío a presión de 40°F con secadores de aire refrigerativos.

Utilizar filtros para remoción de aceite a la descarga de cada secador equipados con drenes automáticos eficientes para eliminar contaminantes aportados por compresores lubricados y medio ambiente severo.

1.- El sistema aspira un total de 2.08 gal/h de humedad (vapor de agua) junto con el aire que va a ser comprimido.

entra a la red contiene 0.09 gal/h en forma de vapor de agua.



2.- En los postenfriadores de los compresores se condensan 1.15 gal/h de agua, que son conducidos hacia el tratamiento ecológico de condensados.

3.- Los secadores refrigerativos condensan 0.84 gal/h de agua, que son conducidos hacia el tratamiento ecológico de condensados.

5.- El tratamiento ecológico de condensados recibe 1.99 gal/h de condensado.

Diagrama 1: Generación de condensados en los diferentes puntos de la estación de compresores.

De acuerdo a la norma ISO 8573.1-2010, el tratamiento descrito ofrece calidad clase 1.4.1

Partículas / polvo				
Clase	Nº máx. de partículas por m ³ (35.31 cft ³)			
	Tamaño de part. d en μm *	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER			
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	
3	no definido	≤ 90.000	≤ 1.000	
4	no definido	no definido	≤ 10.000	
5	no definido	no definido	≤ 100.000	
Clase	Tamaño de part. d en μm *			
6		0 < C _p ≤ 5		
7		5 < C _p ≤ 10		
X		C _p > 10		

Agua	
Clase	Punto de rocío de presión, en °C (°F)
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER
1	≤ - 70 °C (-94 °F)
2	≤ - 40 °C (-40 °F)
3	≤ - 20 °C (-4 °F)
4	≤ + 3 °C (+38 °F)
5	≤ + 7 °C (+45 °F)
6	≤ + 10 °C (50 °F)

Clase	Concentración agua líquida C _w en g/m ³ (35.31 cft ³)
7	C _w ≤ 0,5
8	0,5 < C _w ≤ 5
9	5 < C _w ≤ 10
X	C _w > 10

Aceite	
Clase	Concentración de aceite total (líquido, aerosol + gas), en mg/m ³ (35.31 cft ³) *
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	< 1,0
4	≤ 5,0
X	≤ 50

*1) Diseño 20 °C (68 °F), 1 bar(a) (14.5 psia), HR 30%

Tabla 7: Calidad de aire comprimido de acuerdo a la norma ISO 8573-1:2010

- **Drenes de condensados**

El condensado que se forma en todos los sistemas de generación y tratamiento de aire comprimido se debe evacuar de manera confiable en todos aquellos puntos donde se acumula, para evitar daños y problemas de corrosión en tubería y en equipos que utilizan el aire comprimido como energía cinética.

Los drenes electrónicos de condensado Eco Drain, tienen la capacidad de evacuar el condensado de forma segura y sin ocasionar pérdidas de aire comprimido con un proceso altamente confiable. De esta manera representan las siguientes ventajas con respecto a otros sistemas de drenado de condensados tales como:

- No utilizan mecanismos o sistemas de accionamiento que representen riesgos de bloquearse por la formación de corrosión.
- Sin necesidad de accionar manualmente válvulas para drenado que representen riesgo para el operador, eliminando esta operación del proceso de tratamiento de aire.
- No hay desperdicio de aire comprimido al expulsar los condensados del sistema.
- En caso de falla del dren de condensados existe una señal de alarma.



Con estas ventajas mencionadas anteriormente se propone el uso de drenes electrónicos de condensados Eco Drain, los cuales deben instalarse en los puntos donde existe acumulación de condensados como por ejemplo en filtros coalescentes y tanques de almacenamiento de aire comprimido (ver anexo IV, diagrama P&I estación propuesta).

- **Tratamiento ecológico de condensados.**

El condensado que se genera en el proceso de la compresión de aire está contaminado y también contiene aceite según las condiciones de operación y el entorno del compresor. Estas sustancias pueden perjudicar el medio ambiente.



Para obtener agua lo suficientemente limpia como para disponer de ella por la red de drenaje, será necesario proceder primero con un tratamiento de condensados para cumplir con la legislación nacional vigente.

De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, se establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales o las condiciones particulares de descarga del permiso de descarga correspondiente y la NOM-002-SEMARNAT-1996, así como la Ley de Aguas Nacionales LAN que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Es recomendable tener un sistema de tratamiento de condensados KCF para de esta forma poder descargar agua cuyos contaminantes no excedan de los límites permitidos por la normativa nacional (ver anexo IV, diagrama P&I estación propuesta).

El material de fabricación de la tubería es importante para la correcta operación de la red de distribución de aire comprimido y evitar problemas como:

- Formación de corrosión al interior de la tubería.
- Aportación de contaminantes sólidos a los puntos de uso.
- Caídas de presión debido a la reducción del diámetro inicial de la tubería.

KAESER recomienda la instalación de tuberías de distribución de aire comprimido fabricadas en aluminio. El sistema SmartPipe+ ofrece bajos costos de instalación y menores costos de operación a largo plazo al evitar los problemas antes mencionados.