INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas se enfocan en optimizar los recursos energéticos, con la finalidad de reducir costos y ser más competitivos.

El aire comprimido siendo la cuarta utilidad del mercado mundial es utilizado en varios procesos para generar trabajo en diversos sistemas, el mismo es producido por compresores que requieren de energía eléctrica para su generación, por ende hay que darle la debida importancia para evitar el desperdicio energético y económico.

El objetivo de este tema consiste en determinar cuáles son las condiciones actuales del sistema de aire comprimido en una empresa de textiles por medio de la recolección de datos, de manera que se pueda conocer el estado de la misma y en base a esto se establezcan mejoras en el caso de requerirlas.

Por medio del uso de dispositivos se recolectan datos del sistema, los mismos que son analizados para determinar el consumo de aire comprimido y los costos reales del sistema.

Se conoce que la empresa de textiles, donde se realizó la auditoría ha tenido un crecimiento que no ha sido planificado, por lo que se puede apreciar un desorden en la distribución del sistema de la red.

El sistema de aire comprimido se va a detallar por secciones: el sistema de generación, tratamiento, distribución de aire comprimido además de conocer cuál es la demanda instalada de aire comprimido.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

El proceso empieza el momento que llega la materia prima como: filamento de poliéster (hilo), productos químicos (auxiliares) y colorantes; los que son almacenados en la bodega de materia prima.

El jefe de texturizado solicita a bodega de materia prima el hilo para procesarlo en el área de texturizado y darle el tratamiento necesario al mismo, luego de esto se realiza una prueba de calidad al hilo en una máquina revisadora de hilo, el hilo que se encuentra en buen estado es almacenado en bodega de hilo, mientras que el hilo en mal estado se lo utiliza como wype.

Las bobinas de hilo son trasladadas al área de tejeduría en la cual se procede a tejer el hilo obteniendo así tela cruda, la que es revisada, clasificada y almacenada en bodega de tela cruda.

Se da paso al lavado de la tela cruda, en donde se eliminan impurezas. Una vez lavada la tela se realiza el tinturado utilizando químicos y colorantes, dicha tela ya tinturada es trasladada a la centrifugadora para secarla.

La tela seca es trasladada por medio de una carreta redonda hacia la plegadora, la misma que la va ordenando y doblando. Una vez plegada la tela es llevada a la termofijadora para darle estabilidad dimensional (planchado) a la tela.

Finalmente se estampa el nombre de la marca en la tela, es pesada, medida y trasladada a bodega de producto terminado.

1.1. Área de Texturizado

El proceso de texturizado inicia verificando las características del hilo, observando que en la parte externa de la bobina no existan hilos cruzados, pelusas, manchas de grasa, entre otros.

El filamento de poliéster es colocado en la máquina texturizadora en la que el hilo pasa por un horno a 200ºC. donde es texturizado (cocinado) para no descomponerse en varios filamentos y logre tener una textura adecuada y consistente. El proceso de texturizado dura de 2 a 6 horas para obtener una bobina de hilo texturizado.

El hilo hace el recorrido en las texturizadoras de la siguiente manera:

- Guía de hilos de la fileta
- Guía de hilos de entrada al sensor
- Sensor de cortes
- Guía de hilos
- Rodillo No. 1
- Guía de hilos
- Horno primario
- Huso o husillo de fricción
- Rodillo No. 2
- Horno secundario
- Rodillo No. 3
- Zona de enfriamiento
- Rodillo de aceite

- Guía de hilos
- Núcleo para enrollamiento del hilo

En la figura 1.1 se indica el proceso de texturizado.

FIG. 1.1 PROCESO DE TEXTURIZADO

Existen tres máquinas texturizadoras de marca BARMAG modelo FK 4C (texturizadora 3), FK 6 (texturizadora 2) y FK 6T-80 (texturizadora 1), las mismas que obtienen una producción cada seis horas, exceptuando la máquina FK6 T80 la cual con tan solo dos horas produce lo que las otras máquinas en seis, teniendo mayor velocidad y calidad. En la máquina FK6T-80, se le realiza al hilo un proceso de templado, el

mismo que se aplica dependiendo del diseño de la tela a elaborar; es decir, si se desea elaborar una tela rígida, se aplica el proceso de templado, pero, si se desea elaborar una tela flexible y que se estire, no se aplica el proceso de templado. El proceso de templado se lo hace por medio de aire y agua.

Una vez finalizado el proceso de texturizado las bobinas son ubicadas en una fileta, que consiste en una estructura metálica donde se colocan las bobinas.

Luego se realiza un muestreo de las bobinas de hilo texturizado (prueba de calidad), para lo cual se utiliza una máquina tejedora circular de prueba de bobina de marca FAK (máquina revisadora de hilo) que se indica en la figura 1.2, la cual va tejiendo en forma tubular tres bobinas que se controlan a través de contadores que marcan 70 puntos (cada punto es una vuelta) los cuales una vez terminados se realiza el cambio de las bobinas; estas muestras se las lleva al departamento de control de calidad para ser tinturadas y con una inspección visual se ve la uniformidad de las bobinas para luego clasificarlas, y en el caso de existir variación en el color encontrar el error, ya sea mecánico o de temperatura y encontrar la solución.

FIG. 1.2 MÁQUINA DE PRUEBA DE HILO FAK

1.2. Área de Tejeduría.

Esta área tiene varias divisiones y empieza por la urdidora, la cual necesita 700 bobinas para realizar cada carga o faja. Se requiere de 4200 bobinas para formar una urdimbre que consta de 6 fajas. En la figura 1.3 se indica la obtención de urdimbre.

FIG. 1.3 OBTENCIÓN DE URDIMBRE

Luego de esto es plegado el urdido, que consiste en trasladar la urdimbre del tambor cónico a uno normal, para así facilitar la ubicación del hilo en los telares y almacenarlo en la bodega.

Una vez plegado se divide en dos fases:

Anudado:

El anudado consiste en unir el urdimbre de distintos tambores (bobinas de urdimbre) por medio de una máquina anudadora marca KNOTEX modelo TS/2 7390, para dar continuidad al proceso de tejido en el telar como se indica en la figura 1.4.

Este proceso se lo realiza hasta cumplir con 15 anudadas en el telar, en el caso de llegar a completarlas procedemos a realizar el pasado.

FIG. 1.4 PROCESO DE ANUDADO

Pasado:

El proceso de pasado consiste en el ordenamiento de los hilos de la urdimbre, utilizando láminas metálicas delgadas denominadas lizos, que tienen un hueco por donde se pasa cada uno de los hilos por su respectivo lizo, el mismo que ordena y separa cada hilo como se muestra en la figura 1.5.

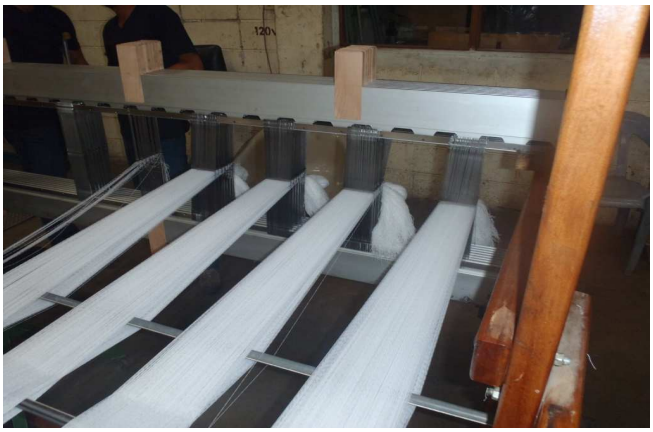

FIG. 1.5 PROCESO DE PASADO

Una vez colocado la urdimbre en el telar se procede a tejer el mismo con un hilo transversal denominado trama, para así formar la tela.

Finalmente se obtiene un rollo de tela cruda que aproximadamente mide 220 m. y pesa 90 kg. para luego ser almacenada en bodega de tela cruda.

1.3. Área de lavado, Tinturado y Plegado

En esta área la tela procede a ser lavada y tinturada empleando vapor en una máquina tinturadora-lavadora de marca DEVREKHA y 3 tinturadoras-lavadoras de marca GASTON COUNTY modelo 3JET como se indica en la figura 1.6. El proceso parte del llenado de las máquinas con agua a 37ºC en un periodo de 10 minutos, luego ingresan tres rollos

de tela, se agrega jabón y se lava la misma por 30 minutos. Después se vacía el tanque y se lo llena otra vez por 10 minutos, se agregan aditivos para tinturar y luego de 5 minutos se agregan los colorantes. Finalizado este procedimiento se agrega vapor hasta que el agua alcance 60ºC., se agrega mas vapor en un período de 45 minutos hasta que la temperatura sea de 130ºC., luego se deja a esa temperatura por un lapso de 30 a 45 minutos, dependiendo del tono del color de la tela, si el mismo es oscuro se la deja 45 minutos y si es claro o medio se la deja 30 minutos.

Al final se deja enfriar la máquina por 30 minutos hasta que la temperatura llegue a 70ºC., después se agrega agua fría hasta alcanzar una temperatura de 50ºC. a la cual se extrae la tela.

FIG. 1.6 LAVADO Y TINTURADO

Una vez lavada y tinturada la tela pasa por una centrifugadora de marca H. KRANTZ A. ACHEN que se observa en la figura 1.7, la cual gira a unas 800 RPM. por un periodo de 5 minutos para eliminar la mayor cantidad de agua posible. Luego del centrifugado la tela se transporta en unas carretas redondas hacia una máquina plegadora, la misma que estira y ordena la tela para colocarla en una carreta rectangular.

FIG. 1.7 ÁREA DE SECADO

1.4. Área de Termofijado.

En esta área la tela doblada es conducida por unos rodillos los cuales se encargan de trasladar y dirigir la tela a una velocidad de 15 m/min por todo el proceso de termofijado.

El termofijado consiste en brindar estabilidad dimensional a la tela, la misma que avanza y por medio de calor es planchada haciendo un recorrido de veinte metros que se divide en 2 tramos a distintas temperaturas de 180ºC y 190 ºC., donde se elimina totalmente la humedad de la tela por medio de calor generado por unos quemadores mientras avanza, para luego ser enrollada.

El proceso de termofijado emplea una máquina JAWETEX modelo AG que se puede apreciar en la figura 1.8.

FIG. 1.8 TERMOFIJADORA

Finalmente la tela es inspeccionada visualmente, cortada cada 30 metros de longitud y almacenada en bodega de producto terminado.

La empresa cuenta para el proceso de producción de tela con varias máquinas como se detalla en la tabla # 1

TABLA # 1

MÁQUINAS UTILIZADAS EN EL PROCESO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CADA MÁQUINA				
ÁREA	TIPO	MARCA	MODELO	CANTIDAD
Texturizado	Texturizadora	BARMAG	FK 4C	1
			FK6	1
			FK6T-80	1
	Tejedora circular	FAK	LAWSON	1
	Bobinadora	SCHWEITER	MC 2268/69	2
Tejeduría	Urdidora	ARCT	OR	1
	Plegadora de hilo	ATELIER		1
	Anudadora	KNOTX	TS/2 7390	1
	Telares (sencillo)	STAUBLI	MAV-S-RN-205	32
	Telares (sencillo)	STAUBLI	MAV-S-RPC-205	12
	Telares (doble)	STAUBLI	MAV-DM-R	12
Lavado, Tinturado y Plegado	Lavado/tinturado	GASTON COUNTY	3JET	3
	Lavado/tinturado	DEVREKHA	22 7 208	1
	Secadora	H. KRANTZ	AACHEN	1
	Plegadora de tela	JAWATEX		1
Termofijado y Cortado	Termofijadora	JAWATEX	AG	1
	Medidora	MENSCHI		2
	Revisadora	MASCHIN		3
Cuarto de Máquinas	Caldero	CLEAVER BROOKS	CB600-400	1
		CLEAVER BROOKS	CR655-200	1
	Compresor	SULLAIR	LS 16	1
		SULLAIR	LS 200S	1

1.5. Diagrama de flujo.

Se procede a indicar gráficamente mediante la figura 1.8, el proceso de sucesión de todas las operaciones e inspecciones por las que se tiene que pasar para así poder obtener el producto final.

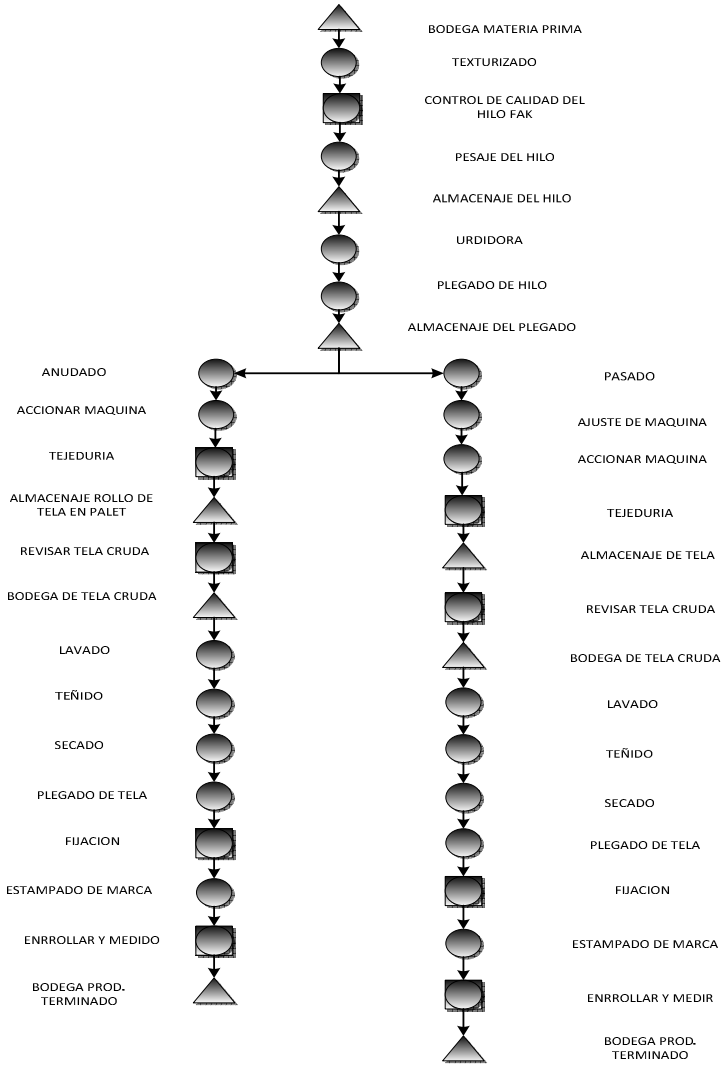

FIG. 1.9 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA TEXTIL

CAPÍTULO 2

2. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.

A continuación se describe el sistema de aire comprimido que se encuentra en estado operativo, el cual presenta problemas que serán analizados posteriormente.

Se describe el sistema de generación, tratamiento y distribución del aire comprimido hasta los puntos de consumo del mismo.

2.1 SISTEMA DE GENERACIÓN.

El sistema de generación de aire comprimido está compuesto por dos compresores de aire a tornillo marca Sullair, modelo LS16-100H (compresor 1, Tabla C.1 del Apéndice C) y modelo LS200S-150XHAC (compresor 2, Tabla C.2 del Apéndice C); dos compresores de aire a pistón, uno de marca Otto Boge Bielefeld modelo SB180-2.6/80 y otro

de marca Speedaire como se muestra en la figura 2.1; cuyas capacidades y estado operativo se indican en la tabla # 2.

FIG. 2.1 COMPRESORES

TABLA # 2

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE GENERACIÓN DE AIRE

EQUIPO	MARCA	POTENCIA		ESTADO OPERATIVO	CAPACIDAD	PRESIÓN MÁXIMA
		Kw	HP		m^3/min (CFM)	BAR (PSI)
Compresor de tornillo 1	Sullair	74.57	100	Bueno	12.12 (430)	7.93 (115)
Compresor de tornillo 2	Sullair	111.85	150	Bueno	16 (570)	12 (175)
Compresor a pistón	Otto Boge Bielefeld	0.75	1	Bueno	0.18 (6.4)	10 (145)
Compresor a pistón	Speedaire	3.73	5	Bueno	0.57 (20)	10 (145)

Los principales generadores de aire comprimido de la planta son los compresores de aire a tornillo, ya que estos abastecen a todas las áreas; mientras que los compresores de aire a pistón se los utiliza en aplicaciones específicas cuando los compresores a tornillo están apagados.

Los compresores principales tienen dos turnos, cada uno de doce horas los 365 días del año, los mismos que paran durante los feriados. El número de horas del compresor 1 es 10337 y el número de horas del compresor 2 es 56722.

El control operativo de los compresores principales está a cargo de dos operadores de la planta, quienes llevan a cabo el mantenimiento preventivo de los compresores.

El plan de mantenimiento de los compresores principales está en función del número de horas de operación y se lo describe en la tabla # 3 de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

TABLA # 3

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS COMPRESORES A TORNILLO

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
DESCRIPCIÓN		**NÚMERO DE HORAS**
Revisión del estado del controlador		1000
Limpieza de las líneas de retorno de aceite		1000
Lubricar control de la válvula de admisión		1000
Cambiar filtro de aceite		1000
Cambiar filtro de aire		1000
Limpieza de las válvulas de control	Válvula solenoide	1000
	Válvula de presión mínima	
	Válvula termal	
	Válvula de parada de aceite	
	Válvula de admisión	
	Válvula reguladora de presión	
Revisión de los parámetros de operación	Temperatura de descarga	1000
	Presión de la línea	
	Presión diferencial	
	Presión del tanque separador	
	Holómetro	
	Tiempo de drenaje	
Limpieza interior y exterior del compresor.		1000
Limpieza de las trampas de agua (drenadores)		1000
Revisión de rupturas y fugas	Radiador	1000
	Línea de control	
Limpieza de radiador		1000
Revisión del ajuste de los ventiladores		8000

Revisión del acople flexible, prisioneros y bridas		8000
Revisión del sello del eje		8000
Reajustar todos los terminales eléctricos del tablero		8000
Cambiar filtro separador (primario y secundario)		8000
Revisión de los terminales del motor		8000
Cambio de aceite		8000
Reemplazar kit de válvulas de control	Válvula solenoide	15000
	Válvula de presión mínima	
	Válvula termal	
	Válvula de parada de aceite	
	Válvula de admisión	
	Válvula check de unidad compresora	
	Válvula reguladora de presión	
Cambiar válvula check de 3 vías		15000
Cambiar kit de los sellos		15000
Cambiar kit de válvula de drene temporizada		15000
Cambiar resorte del control de la válvula de admisión		15000
Cambiar pin del control de la válvula de admisión		15000
Revisión de las rótulas de la varilla del control de la válvula de admisión		15000
Cambiar los rodamientos del motor		19000
Revisión del aislamiento del motor		19000
Barnizar el bobinado del motor		19000
Engrasar el motor		19000
Cambiar los rodamientos de la unidad compresora		45000
Calibrar los tornillos de la unidad compresora		45000
Cambiar el sello del eje		45000
Limpieza de la carcasa del estator de la unidad compresora		45000
Remover impurezas de los tornillos de la unidad compresora		45000

El mantenimiento preventivo del compresor 1 y compresor 2 no se ha llevado a cabo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

El compresor 1 presentó problemas como: fugas de aceite, excesivo arrastre de aceite en la línea de distribución, alta temperatura, mal funcionamiento y apagones. El compresor 1 se apagó 8 veces durante el año.

Las fugas de aceite ocasionaban que el operador agregue aproximadamente 1 litro de aceite cada dos semanas en el compresor 1, lo cual es muy frecuente y en consecuencia se producía un desperdicio del mismo.

Otro problema que se presenta es que el compresor 1 y 2 no tienen una válvula de purga temporizada en el post enfriador (drenaje) de cada uno y a cambio utilizan válvulas de bola parcialmente abiertas.

La labor de mantenimiento y la adquisición de repuestos se realizan con el personal de la empresa, pero ha habido intervenciones de personal especializado con el cual el costo anual de mantenimiento del sistema

de generación del año 2010 fue $ 4487.46, debido a la adquisición de las partes y servicios mostrados en la tabla # 4.

TABLA # 4

DESCRIPCIÓN DE PARTES Y SERVICIOS EMPLEADOS EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Filtro de aceite	9
2	Lubricante (Gal)	11
3	Filtro de aire	3
4	Elemento separador primario	1
5	Elemento separador secundario	1
6	Mano de obra (mantenimiento de 8000 horas)	1

Pese a los problemas que se han presentado en el sistema de generación de aire comprimido, no ha habido paralizaciones en el proceso de producción debido a la falta de aire comprimido.

Causas de Problemas.

El excesivo arrastre de aceite se producía debido a que no se había cambiado el filtro separador que estaba saturado.

Las fugas de aceite del compresor se deben a que no se reajustaban ciertas juntas o uniones que debido a vibraciones se aflojaban.

Los radiadores no los limpiaban, a causa de esto se obstruían con una capa de suciedad la que actuaba como aislante térmico, provocando que en el compresor 1 la temperatura se eleve.

Las elevadas temperaturas del compresor 1 causaban que este se apague.

La válvula de bola del post enfriador permanece parcialmente abierta, actuando como una fuga.

Correcciones a realizar.

Cumplir con el mantenimiento preventivo recomendado por el fabricante.

Cambiar el filtro separador saturado por uno nuevo, para eliminar el arrastre excesivo de aceite.

Realizar periódicamente un reajuste de las uniones del compresor, para eliminar las fugas de aceite.

Limpiar frecuentemente el radiador para evitar que la temperatura del compresor se eleve.

Instalar válvulas temporizadas de drenaje que permitan drenar condensado sin desperdiciar aire comprimido.

2.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO.

La planta industrial cuenta con filtros de partículas en las texturizadoras que son los principales consumidores de aire.

Estos filtros están saturados y no se los ha cambiado, debido a esto la calidad del aire no es la adecuada.

El sistema de tratamiento de aire no cuenta con un secador, debido a esto existe bastante presencia de humedad en las líneas de distribución.

Existe corrosión en la línea de distribución de aire comprimido, además los filtros de partículas se saturan rápidamente.

La vida útil de los elementos neumáticos es muy corta, ya que estos se desgastan rápido provocando un mal funcionamiento (lenta operación).

La planta industrial no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento de aire comprimido, esto es un problema ya que el mismo posee exceso de humedad e impurezas.

Causas de problemas.

El aire atmosférico en un ambiente industrial contiene contaminantes que incluyen partículas, humedad e hidrocarburos.

El compresor por si mismo contamina el aire comprimido con partículas debido al desgaste y arrastre de aceite.

La temperatura de descarga del compresor puede ser muy elevada para la distribución, esto trae un problema debido a que al aumentar la temperatura, aumenta la capacidad del aire de retener agua en forma de vapor y en el recorrido por la tubería este se enfría, provocando que el vapor se condense; como resultado de esta condensación la tubería y las conexiones comienzan a corroerse debido al exceso de humedad.

Al juntarse las partículas con la humedad, se forma una especie de pasta que satura rápidamente a los filtros.

La suciedad, agua y humedad son arrastradas en el aire y son depositadas en el ingreso de tuberías y conexiones, causando un incremento en la caída de presión de la línea. La pérdida de presión es una pérdida de energía usada para comprimir el aire.

Correcciones a realizar.

Instalar secadores de aire que permitan disminuir la humedad en la línea de distribución.

Cambiar elementos de los filtros ya que estos están saturados.

Suministrar a los elementos neumáticos una buena calidad de aire para que estos funcionen correctamente y su vida útil se prolongue.

El tratamiento del aire comprimido es importante debido a que elimina impurezas que el mismo lleva como partículas, humedad y aerosoles de aceite, que pueden ocasionar problemas tanto en los puntos de consumo (equipos) como a lo largo de la red de distribución (válvulas, cilindros, tuberías).

Para tener una idea de la cantidad de agua que circula en el sistema de aire comprimido es necesario conocer la temperatura y la humedad relativa de los cuartos donde están situados los compresores, en la figura 2.2 se muestra el comportamiento de las temperaturas de bulbo seco y húmedo del cuarto del compresor 1.

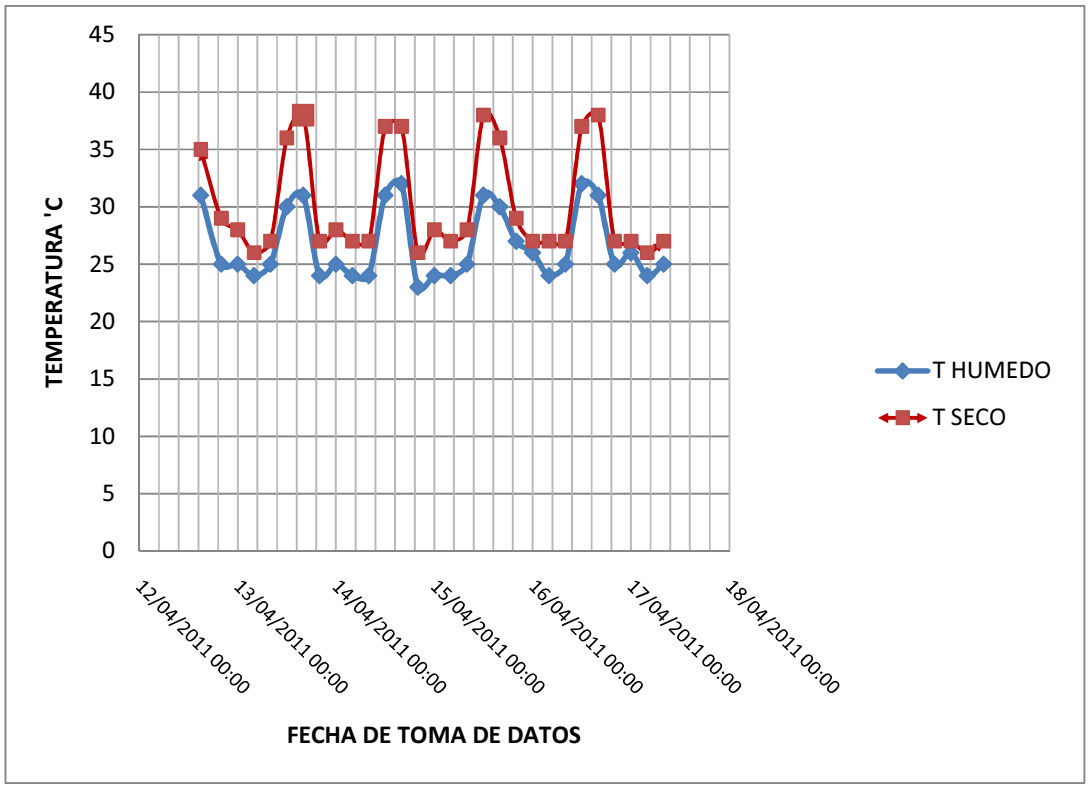

FIG. 2.2 TEMPERATURAS DEL CUARTO DEL COMPRESOR 1

En la figura 2.3 se muestra el comportamiento de la humedad relativa en el cuarto del compresor 1. La humedad relativa se obtuvo utilizando una carta psicométrica que se indica en el Apéndice A (Figura A.1) por medio de las temperaturas de bulbo seco y húmedo.

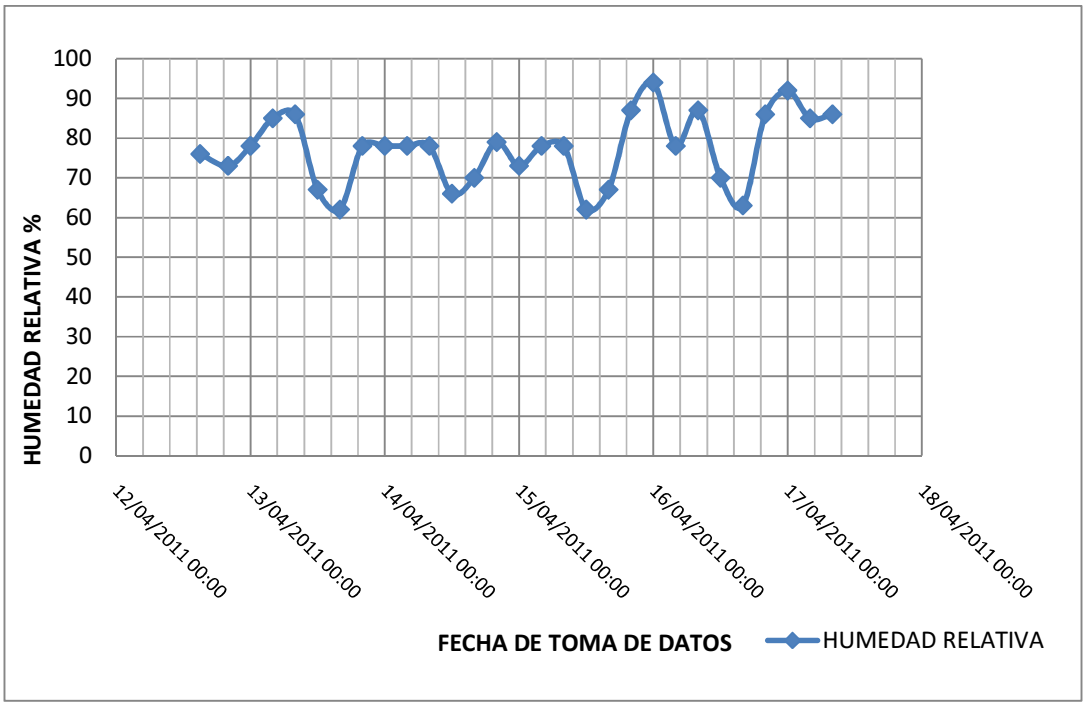

FIG. 2.3 HUMEDAD RELATIVA EN EL CUARTO DEL COMPRESOR 1

Se realiza el siguiente cálculo para determinar la cantidad de agua que circula en la red de aire comprimido debido al compresor 1:

Se asume que el aire es un gas ideal.

Datos

V= 6.31 m^3 volumen de aire que ingresa al compresor en un minuto.

P= 101.35 KPa.

T= 30.2 ºC = 303.2 ºK Temperatura media del sitio donde está ubicado el compresor 1.

Humedad relativa Φ= 77.2%

De la ecuación 2.1 de humedad relativa, se determina la presión de vapor de agua.

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} \quad (2.1)$$

P_v: Presión de vapor de agua.

P_g: Presión de saturación del agua a cierta temperatura.

P_g a 30ºC= 4.2469 KPa (Apéndice B, Tabla B.1).

$$P_v = \phi . P_g$$

$$P_v = (0.772)(4.2469)$$

$$P_v = 3.28\ KPa$$

De la ecuación 2.2 del gas ideal se determina la masa de vapor de agua contenido en un volumen de 6.31 m^3 de aire a una temperatura de 30.2 ºC.

Donde:

Mv: Masa de vapor.

V= 6.31 m^3

R_v= 0.4615 KPa.m^3 constante de gas vapor de agua (Apéndice B, Tabla B.2).

T= 30.2ºC= 303.3ºK

$$M_v = \frac{P_v.V}{R_v.T} \tag{2.2}$$

$$M_v = \frac{(3.28)(6.31)}{(0.4615)(303.2)}$$

$$M_v = 0.1479Kg\ de\ vapor\ de\ agua.$$

De la ecuación 2.3 de la densidad, se obtiene el volumen de agua

$$\rho = \frac{Mv}{V_{agua}} \tag{2.3}$$

Donde $\rho = 995.7Kg/m^3$ densidad del agua a 30.2 ° C (Apéndice B, Tabla B.3).

$$V_{agua} = \frac{0.1479}{995.7}$$

$$V_{agua} = 0.0001485\ m^3 = 0.1485\ lt\ de\ agua$$

El volumen de agua que ingresa al sistema debido al compresor 1 es 0.1485 litros por minuto.

La cantidad de agua que ingresa al sistema es de $\frac{0.0234Kg}{m^3\ Aire}$.

En la tabla # 5 se muestra la cantidad de agua que se recolectó del drenaje del compresor 1 y de los tanques que almacenan aire del compresor 1 en un período de tiempo de 90 minutos.

TABLA # 5

VOLUMEN DE AGUA RECOLECTADO DE LOS DRENES DEL COMPRESOR 1 Y SUS TANQUES PULMÓN EN 90 MINUTOS

DRENAJE	VOLUMEN lts.
DRENAJE DEL COMPRESOR 1	9
DRENAJE DE LOS TANQUES PULMÓN	1.1
TOTAL	**10.1**

En la figura 2.4 se observa el volumen de agua por minuto que ingresa al sistema, que se drena y que ingresa a la línea respectivamente debido al compresor 1.

En la figura 2.5 se observa el porcentaje de agua que se drena y que va a la línea debido al compresor 1.

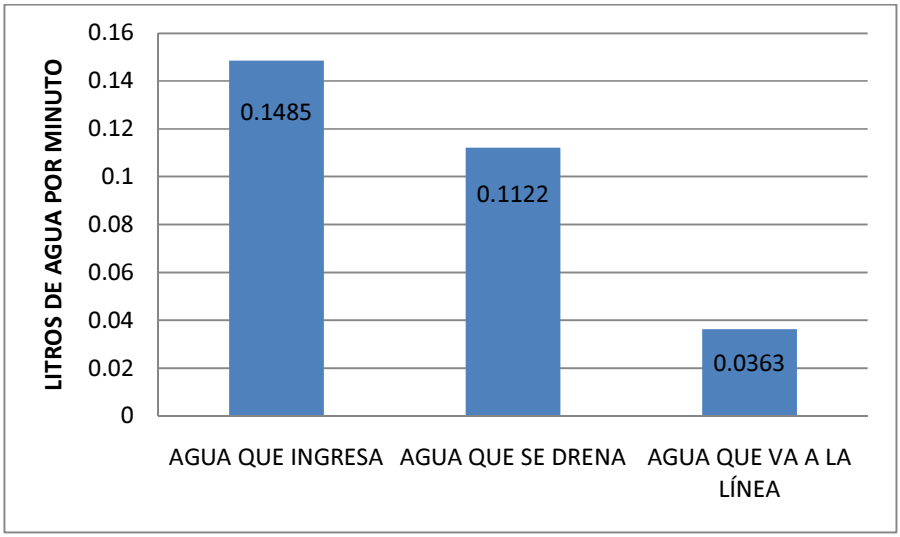

FIG. 2.4 VOLUMEN DE AGUA DEL COMPRESOR 1

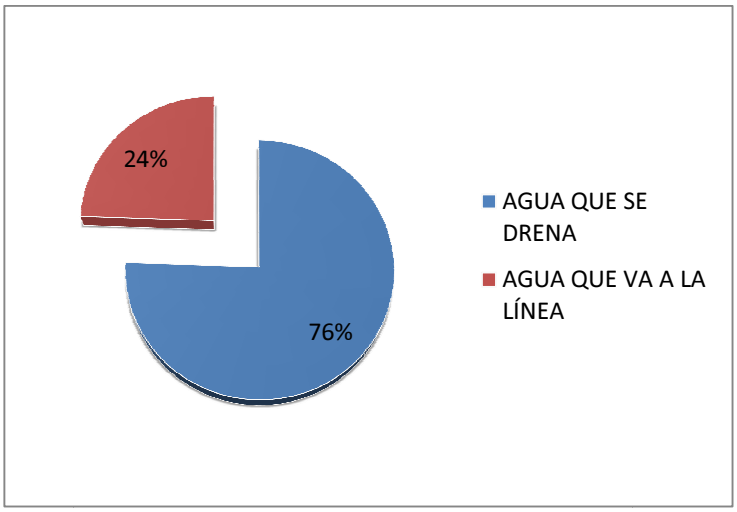

FIG. 2.5 PORCENTAJE DE AGUA DEBIDO AL COMPRESOR 1

Del 76% del agua que se drena, el 67.3 % retiene el postenfriador del compresor 1(drenaje) y el 10.66 % restante es retenido por los tanques pulmón

En la figura 2.6 se muestra el comportamiento de las temperaturas de bulbo seco y húmedo del cuarto del compresor 2.

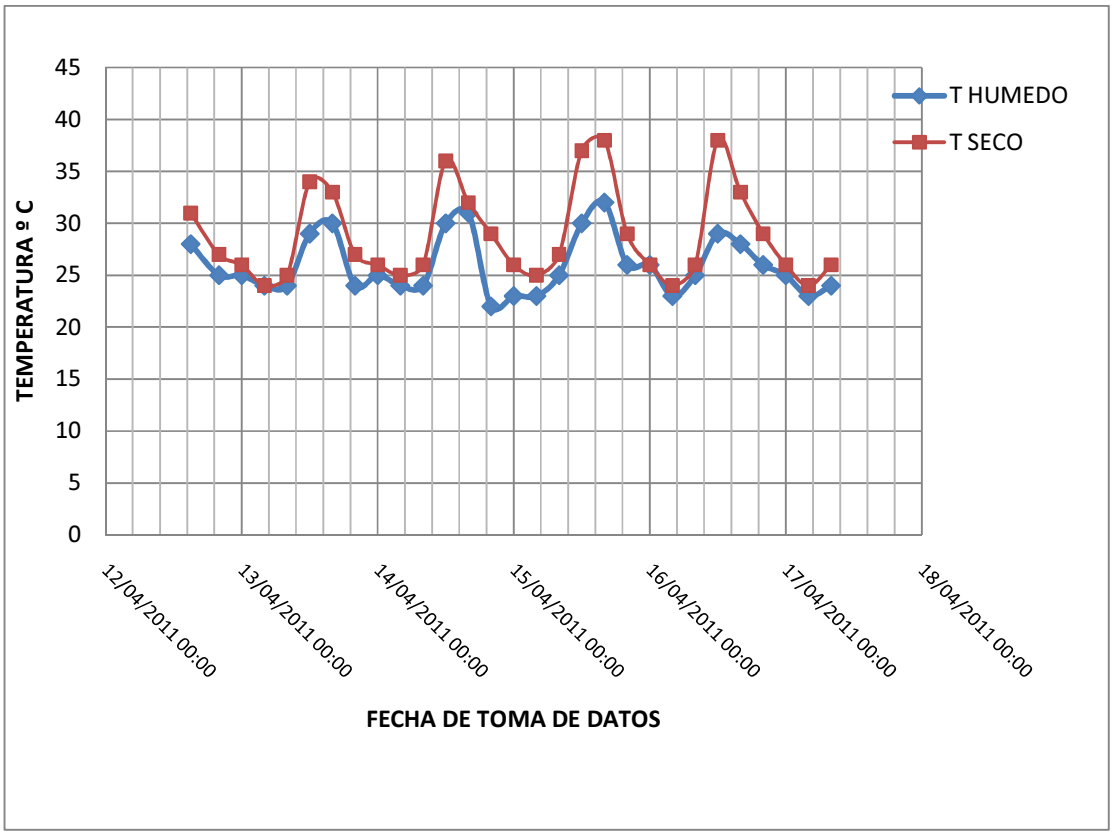

FIG. 2.6 TEMPERATURAS DEL CUARTO DEL COMPRESOR 2

En la figura 2.7 se muestra el comportamiento de la humedad relativa en el cuarto del compresor 2.

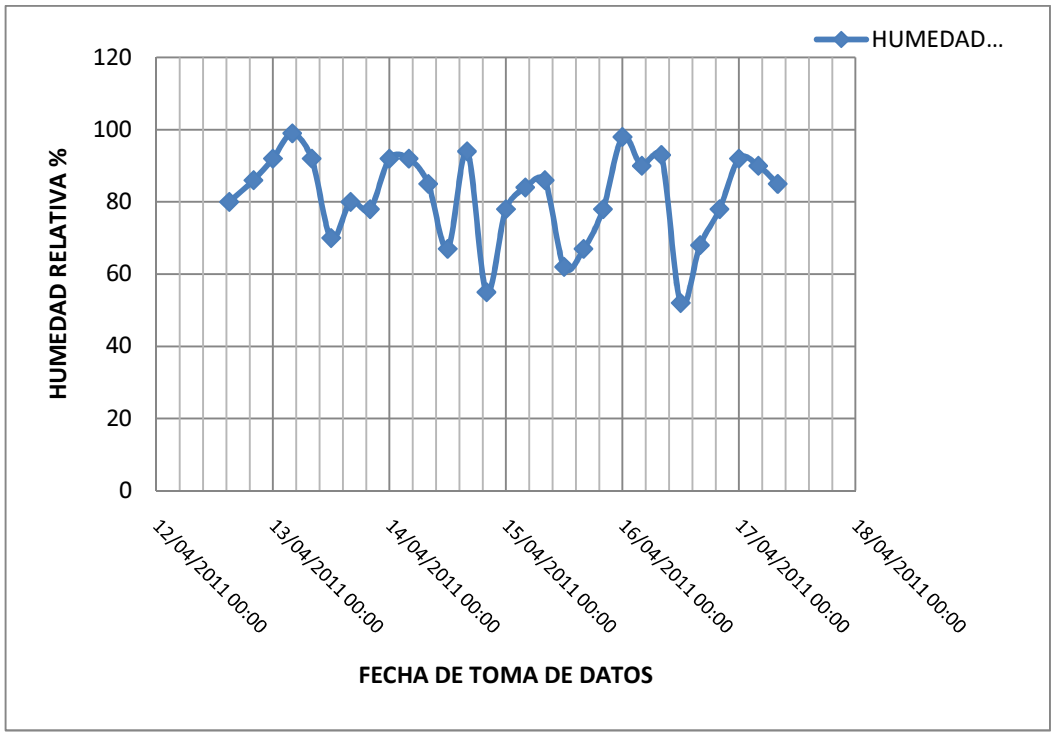

FIG. 2.7 HUMEDAD RELATIVA DEL CUARTO DEL COMPRESOR 2

Se realiza el siguiente cálculo para determinar la cantidad de agua que circula en la red de aire comprimido debido al compresor 2:

Se asume que el aire es un gas ideal.

Datos.

V = 11.01 m^3 volumen de aire que ingresa al compresor en un minuto.

P = 101.35 Kpa.

T= 28.8 ºC = 301.8 ºK Temperatura media del sitio donde está ubicado el compresor 1.

Humedad relativa Φ= 81.5%

P_v: Presión de vapor de agua.

P_g: Presión de saturación del agua a cierta temperatura.

TEMPERATURA º C	Pg Kpa
25	3.1698
28.8	X
30	4.2469

Para obtener P_g a 28.8ºC se procede a interpolar (Apéndice B, Tabla B.1).

$$\frac{30 - 28.8}{30 - 25} = \frac{4.2469 - x}{4.2469 - 3.1698}$$

$$\frac{1.2}{5} = \frac{4.2469 - x}{1.0771}$$

$$0.2585 - 4.2469 = -x$$

$$X = 3.9883\ KPa$$

P_g a 28.8ºC= 3.9883 Kpa.

De la ecuación 2.1 de humedad relativa, se determina la presión de vapor de agua y se reemplazan los respectivos valores.

$$P_v = \phi . P_g$$

$$P_v = (0.815)(3.9883)$$

$$P_v = 3.2504\ KPa$$

De la ecuación 2.2 del gas ideal se determina la masa de vapor de agua contenido en un volumen de 11.01 m^3 de aire a una temperatura de 28.8 ºC.

Donde:

Mv: Masa de vapor.

V= 11.01 m^3

R_v= 0.4615 Kpa.m^3 constante de gas vapor de agua (Apéndice B, Tabla B.2).

T= 28.8ºC= 301.8ºK

$$M_v = \frac{(3.2504)(11.01)}{(0.4615)(301.8)}$$

$$M_v = 0.2569 Kg\ de\ vapor\ de\ agua.$$

T º C	P Kg/m^3
20	998.2
28.8	X
30	995.7

Para obtener la densidad del agua a 28.8 º C se procede a interpolar (Apéndice B, Tabla B.3).

$$\frac{30-28.8}{30-20}=\frac{995.7-X}{995.7-998.2}$$

$$\frac{1.2}{10}=\frac{995.7-X}{-2.5}$$

$$-995.7-0.3=-X$$

$$X=996\ \frac{Kg}{m^3}$$

De la ecuación 2.3 de la densidad, se obtiene el volumen de agua.

Donde $\rho = 996Kg/m^3$

$$V_{agua}=\frac{0.2569}{996}$$

$$V_{agua}=0.0002579\ m^3=0.2579\ lt\ de\ agua$$

El volumen de agua que ingresa al sistema debido al compresor 2 es 0.2579 litros por minuto.

La cantidad de agua que ingresa al sistema debido al compresor 2 es de $\frac{0.023Kg}{m^3\ Aire}$

La cantidad de agua que se recolectó del drenaje del compresor 2 en un período de tiempo de 90 minutos es 12.46 litros.

En la figura 2.8 se observa el volumen de agua por minuto que ingresa al sistema, que se drena y que ingresa a la línea respectivamente debido al compresor 2.

En la figura # 2.9 se observa los porcentajes de condensado que se colecta en el compresor 2, el drenaje desde el tanque pulmón y que va a la línea.

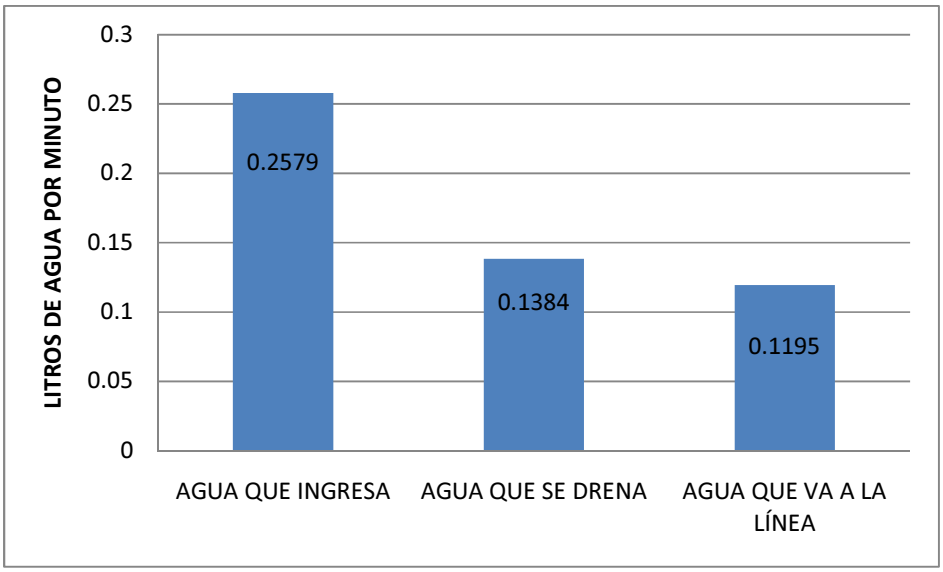

FIG. 2.8 VOLUMEN DE AGUA DEL COMPRESOR 2

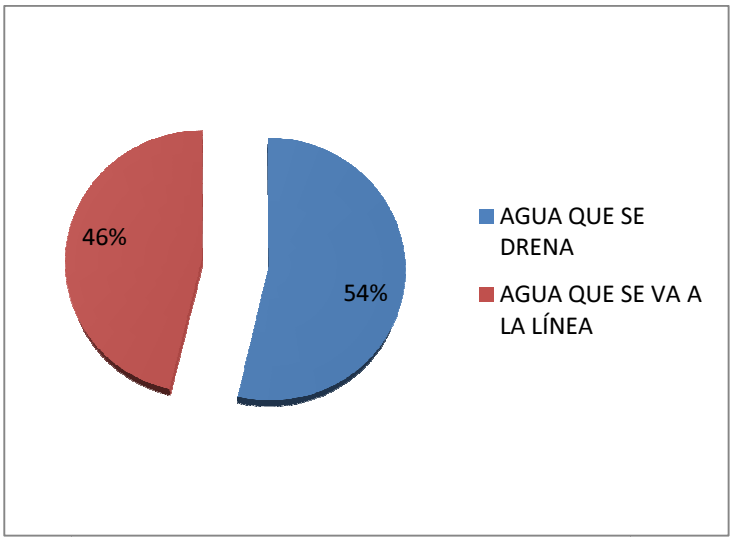

FIG. 2.9 PORCENTAJE DE AGUA DEBIDO AL COMPRESOR 2

El postenfriador del compresor 2 (drenaje) retiene el 54 % de humedad.

El total de agua que está ingresando al sistema de aire comprimido es 0.4064 litros por minuto, que son 24.38 litros por hora, 585.21 litros por día.

La cantidad de agua que ingresa al sistema es de ———

En la tabla # 6 se observa el volumen total de agua que ingresa al sistema, que drenan los compresores principales y que ingresa a la línea de aire comprimido respectivamente.

TABLA # 6

VOLUMEN DE AGUA QUE CIRCULA EN EL SISTEMA EN 1 MINUTO

DESCRIPCIÓN	VOLUMEN LITROS	VOLUMEN TOTAL LITROS
AGUA QUE INGRESA COMPRESOR 1	0.1485	0.4064
AGUA QUE INGRESA COMPRESOR 2	0.2579	
DRENE COMPRESOR 1	0.1122	0.2506
DRENE COMPRESOR 2	0.1384	
AGUA QUE VA A LA LÍNEA COMPRESOR 1	0.0363	0.1558
AGUA QUE VA A LA LÍNEA COMPRESOR 2	0.1195	

En la figura 2.10 se observa el volumen total de agua por minuto que ingresa al sistema, que se drena y que ingresa a la línea respectivamente.

En la figura 2.11 se observa el porcentaje total de agua que se drena y que va a la línea.

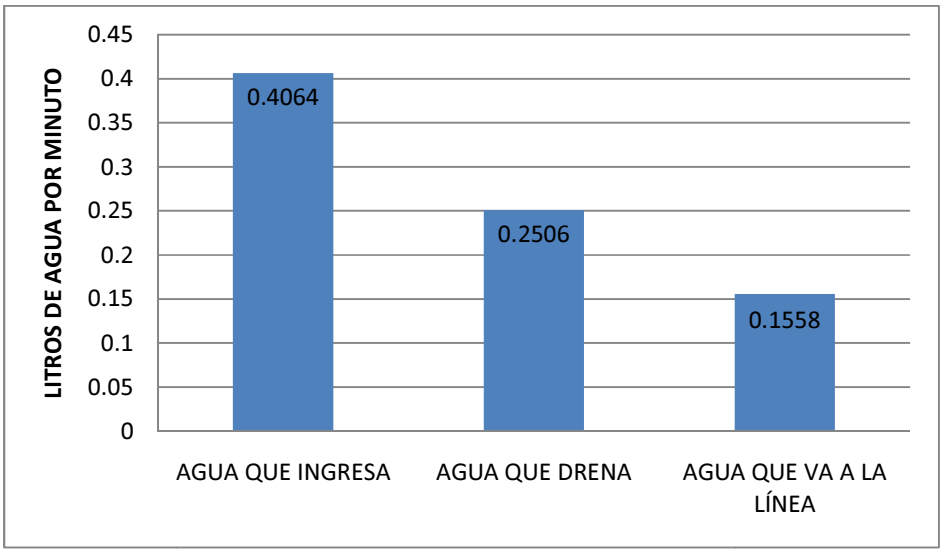

FIG. 2.10 CANTIDAD DE AGUA QUE CIRCULA EN EL SISTEMA

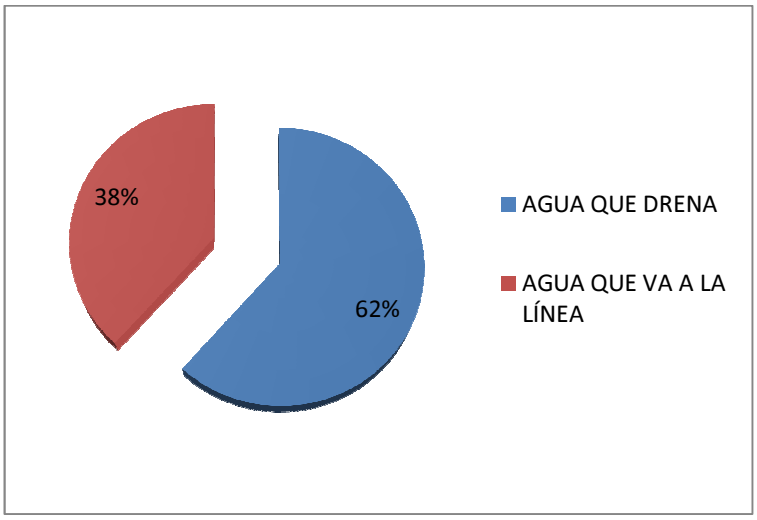

FIG. 2.11 PORCENTAJE DE AGUA DEL SISTEMA

Un sistema de tratamiento de aire comprimido se lo selecciona de acuerdo a la calidad de aire que se desea obtener en los puntos de consumo por lo que existen diferentes maneras de hacer un sistema.

Un sistema de tratamiento básicamente está compuesto por un secador; filtros de partículas, aceite, aerosoles y humedad. En la figura 2.12 se ilustra un sistema de tratamiento de aire comprimido.

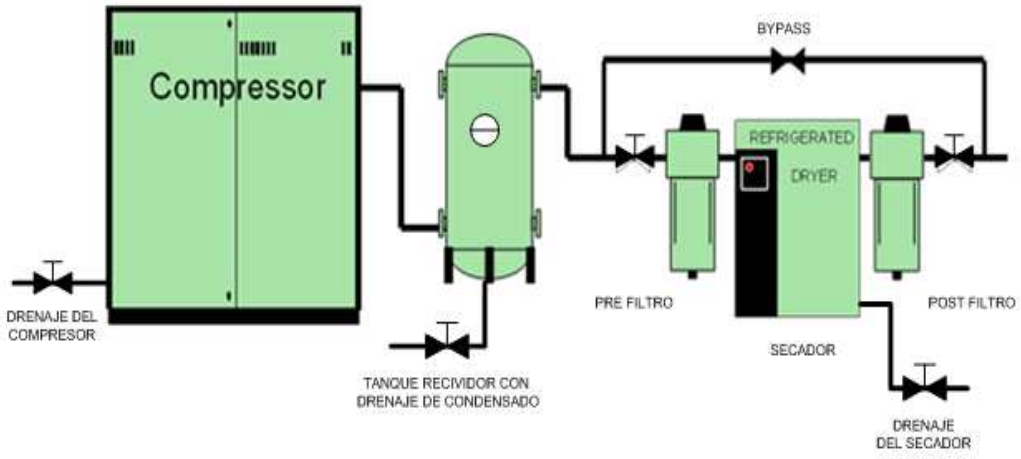

FIG. 2.12 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

2.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

El sistema de distribución de aire comprimido parte con dos líneas principales; una línea (L-1) de 2” conectada al compresor 2 y una línea

(L-2) de 2" conectada al compresor 1. L-2 abastece de aire comprimido al distribuidor principal (D-1), L-1 abastece únicamente a la texturizadora 1, además cabe mencionar que L-1 está conectada al distribuidor principal.

En los planos D.1, D.2 y D.3, mostrados en el Apéndice D, se puede observar la red de distribución actual de aire comprimido que es de tipo abierta, y no posee ningún anillo. En los planos D.4, D.5, D.6, D.7, D.8, D.9, mostrados en el Apéndice D, se muestra sucesivamente la red de distribución del área de calderas, soldadura-carpintería-reparación, lavadoras, taller automotriz, termofijado- texturizado y tejeduría. En el plano D.10 del Apéndice D se muestra el distribuidor principal (D-1) de la planta industrial con los tanques pulmón y en el plano D.11 del mismo Apéndice, se muestra el distribuidor del área de tejeduría (D-2).

Los tanques y distribuidores que componen el sistema de distribución se describen en la tabla # 7, el distribuidor principal se muestra en la figura 2.13.

TABLA # 7

DESCRIPCIÓN DE TANQUES Y DISTRIBUIDORES

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	CAPACIDAD	PRESIÓN DE TRABAJO
		m^3 (ft^3)	BAR (PSI)
Distribuidor Principal	Ø 540 mm x 4 m	2.16 (76.3)	7 (100)
Distribuidor Tejeduría	Ø 170 mm x 1.63 m	0.28 (10)	7 (100)
Tanque 1	Ø 700 mm x 1.7 m	0.7 (24.72)	7 (100)
Tanque 2	Ø 700 mm x 1.7 m	0.7 (24.72)	7 (100)

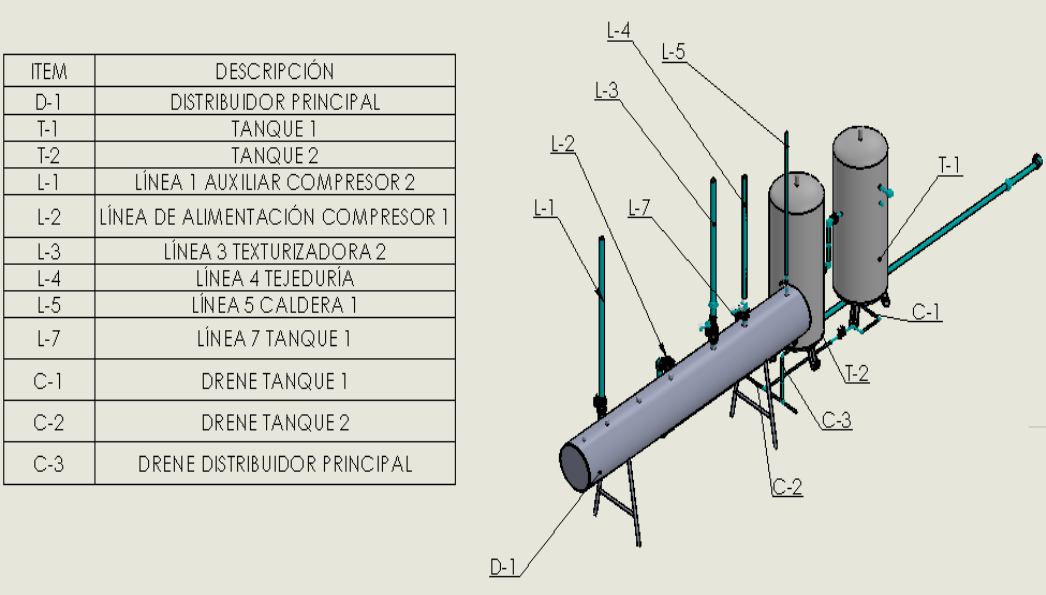

FIG. 2.13 DISTRIBUIDOR PRINCIPAL

El distribuidor principal cuenta con 2 entradas, 1 drenaje y 4 salidas que distribuyen aire comprimido a las siguientes líneas:

1. L-3 es la línea de abastecimiento de la texturizadora 2.
2. L-4 es la línea de abastecimiento del área de tejeduría.
3. L-5 es la línea de abastecimiento de la caldera 1.
4. L-6 es la línea que pasa por los tanques pulmón, para luego unirse con la L-5 y abastecer a las áreas de lavado-tinturado-plegado, termofijado, taller automotriz, caldera 2, máquina FAK, soldadura, carpintería y reparación.

FIG. 2.14 TUBERÍA DE AIRE COMPRIMIDO ACTUAL EN LAS ÁREAS DE TERMOFIJADORA Y FAK

El 70% de la tubería del sistema de distribución de aire comprimido ha operado por 35 años y no ha sido cambiada, el 20% ha operado por 12 años y el 10% de la tubería es nuevo. Se ha cambiado la tubería debido a problemas de desgaste como se muestra en la figura 2.14 que han ocasionado fugas en las líneas de distribución.

El control que existe sobre el sistema de distribución es cuando un operador escucha alguna fuga en la tubería y procede a informar de la misma.

En la figura 2.15 se observa un diagrama de bloques del sistema actual de aire comprimido.

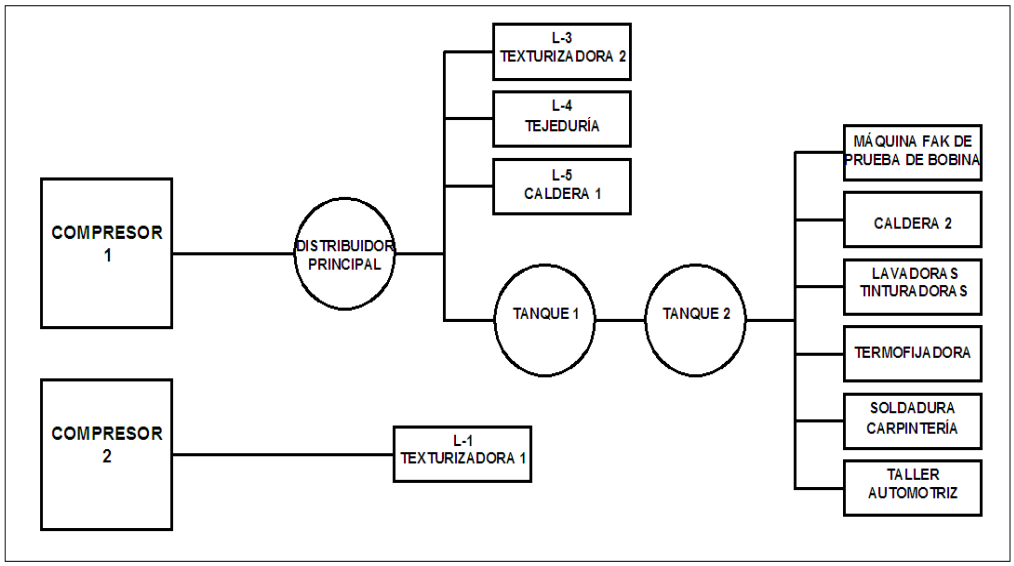

FIG. 2.15 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA ACTUAL

2.4 DEMANDA INSTALADA DE AIRE COMPRIMIDO.

Para determinar la demanda instalada de aire comprimido se utilizó un flujómetro de tipo rotámetro de marca DWYER el cuál fue instalado en las líneas de suministro de aire para las áreas que lo demandan, como se indica en la figura 2.16, luego de haber tomado las lecturas del flujómetro se procedió a remover el mismo.

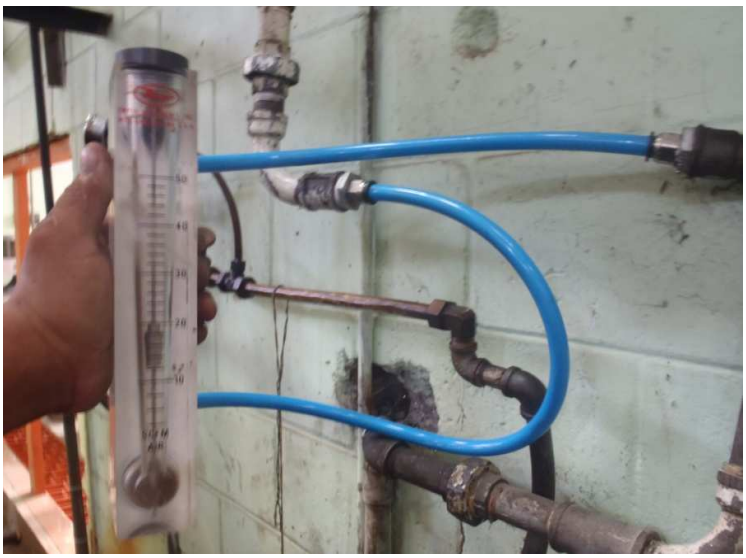

FIG. 2.16 MEDICIÓN EN EL ÁREA DE LA TERMOFIJADORA

En la tabla # 8 se muestra los flujos de aire comprimido que requieren las máquinas principales.

TABLA # 8
DEMANDA INSTALADA DE AIRE COMPRIMIDO

COMPRESOR	SECCIÓN	FLUJO	
		M^3/MIN	CFM
Comp 1	Texturizadora 2	2.26	80
	Caldera 1	0.424	15
	Caldera 2	0.623	22
	Fak	0.113	4
	Termofijadora	0.623	22
	Tejeduría	0.17	6
	Lavado Tinturado	1.36	48
	Total	**5.578**	**197**
Comp 2	Texturizadora 1	10.87	384.1
	Total	**10.87**	**384.1**

Se ha analizado la demanda de aire comprimido por secciones correspondientes a cada compresor. En la figura 2.17 se muestra el porcentaje de aire comprimido que requiere cada máquina.

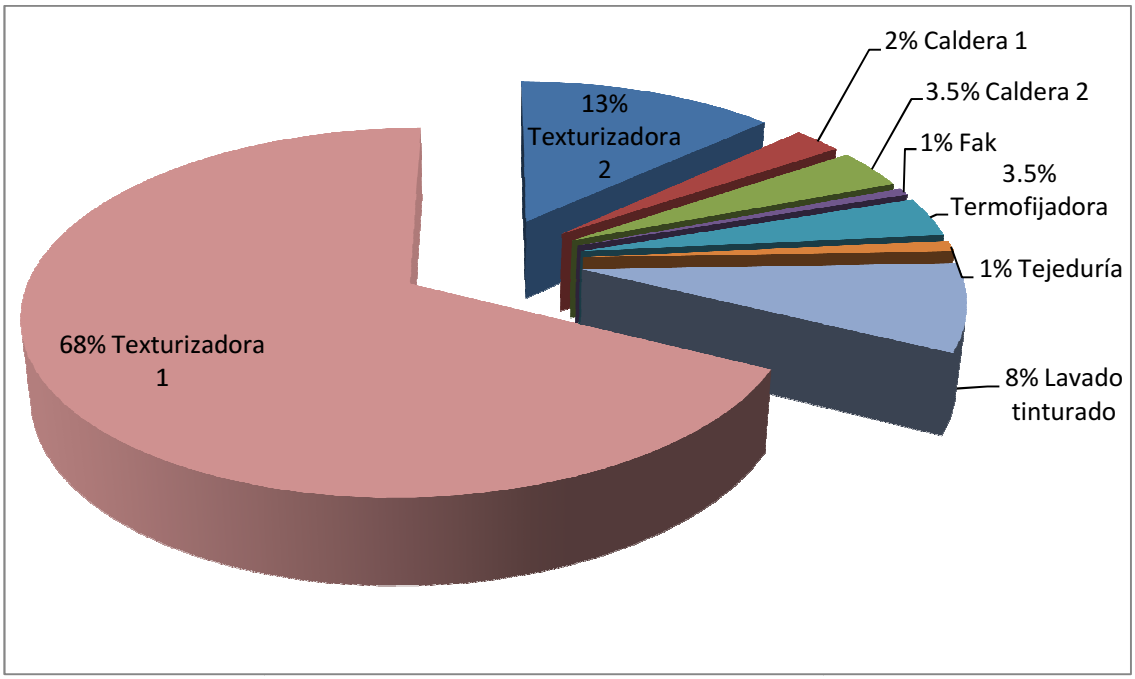

FIG. 2.17 DEMANDA INSTALADA DE AIRE COMPRIMIDO

CAPÍTULO 3

3. AUDITORÍA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Una auditoría es una evaluación del sistema que se realiza detalladamente e incluye el registro de la mayor cantidad de datos para su análisis.

Se registran los datos obtenidos en las lecturas tomadas en todo el sistema durante una semana como mínimo, para obtener un análisis más profundo de la dinámica del sistema y sus posibles problemas.

Se hace un diagrama del sistema, además de un perfil de presión y un perfil de demanda, junto con la presentación gráfica correspondiente de los resultados obtenidos a partir de los datos registrados, a fin de identificar los posibles problemas y proponer como se los podría resolver. Además, se

debe analizar y entregar una representación gráfica de las caídas de presión del sistema.

Se realiza una evaluación integral de los procedimientos de mantenimiento, análisis y capacitación, incluyendo imágenes digitales de aspectos específicos.

El objetivo es lograr una correcta alineación entre el lado del suministro y el lado de la demanda a fin de obtener una eficiencia óptima, ahorros de energía y confiabilidad. Se establece una línea base, contra la que se comparan los resultados de todos los cambios propuestos.

3.1. Normas a Aplicar en Auditoría.

Para poder realizar la auditoría se tomaron en cuenta las siguientes normas:

Calidad del Aire

ISO 8573-1

Las distintas clases de calidad de aire que incluyen los siguientes contaminantes como: agua, aceite y partículas sólidas, han sido

establecidas en la Norma ISO 8573.1 de la Organización Internacional de Normalización, tal como se muestran en las tablas # 9, # 10 y # 11.

TABLA # 9
MÁXIMO TAMAÑO DE PARTÍCULAS Y CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES SÓLIDOS

CLASE	TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS *	MÁXIMA CONCENTRACIÓN **
	Micrones	mg / m^3
1	0.1	0.1
2	1	1
3	5	5
4	15	8
5	40	10
* Tamaño de la partícula basada en el índice de filtración β_{μ} =20		
** En 1 bar (14.5 psi, 20 °C (68 °F) y una presión de vapor relativa de 0.6 (60%)		

TABLA # 10
MÁXIMO PUNTO DE ROCÍO

CLASE	MÁXIMO PUNTO DE ROCÍO	
	°C	°F
1	-70	-94
2	-40	-40
3	-20	-4
4	3	+37.4
5	7	+44.6
6	10	+50
7	No especificada	

TABLA # 11
MÁXIMO CONTENIDO DE ACEITE

CLASE	CONCENTRACIÓN MÁXIMA. ***
	mg / m^{3} ****
1	0.01
2	0.1
3	1
4	5
5	25
*** En 1 bar (14.5 psi, 20 °C (68 °F) y una presión de vapor relativa de 0.6 (60%)	
**** 1 mg / m3 es el peso de aceite en un volumen de aire, y es aproximadamente igual a 0,83 ppm por peso	

Colores de identificación de tubería.

Norma INEN 440

Objeto.

Esta norma define los colores, su significado y aplicación, que deben usarse para identificar tuberías que transportan fluido, en instalaciones en tierra y a bordo de embarcaciones.

Alcance.

Esta norma se aplica según la importancia de las tuberías que se marcará y a la naturaleza del fluido, de acuerdo a una de las modalidades siguientes:

- Solamente por los colores de identificación.
- Mediante el color de identificación, nombre del fluido.
- Mediante el color de identificación, nombre del fluido, indicaciones de código.

Clasificación de los fluidos.

Los fluidos transportados por tuberías se dividen, para efectos de identificación, en 10 categorías, a cada una de las cuales se le asigna un color especifico, según la tabla # 12

TABLA # 12
CLASIFICACIÓN DE FLUIDOS

FLUIDO	CATEGORIA	COLOR
Agua	1	Verde
Vapor de Agua	2	Gris Plata
Aire y Oxígeno	3	Azul
Gases Combustibles	4	Amarillo Ocre
Gases no Combustibles	5	Amarillo Ocre
Ácidos	6	Anaranjado
Álcalis	7	Violeta
Líquidos Combustibles	8	Café
Líquidos no Combustibles	9	Negro
Vacío	0	Gris

Aplicaciones de los Colores de Identificación.

El color de identificación indica la categoría a la que pertenece el fluido conducido en la tubería. Se aplicará según una de las modalidades:

- Sobre la tubería en su longitud total.
- Sobre la tubería como una banda (mínimo 150 mm de longitud dependiendo del diámetro del tubo.)

La aplicación del color puede efectuarse por pintado o mediante bandas adhesivas alrededor del tubo. En caso de usarse bandas, el color decorativo o protector de la tubería no debería ser ninguno de los colores de identificación.

Las indicaciones escritas sobre la tubería o sobre las placas deben ser claramente legibles en idioma español, pintadas en color de contraste sobre el color de identificación de la tubería. Y tendrán las alturas mínimas de acuerdo al diámetro del tubo, según se establece en la tabla # 13.

TABLA # 13

TAMAÑO DE LA ESCRITURA SEGÚN EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

DESCRIPCIÓN	HACIA						MAS DE
Diámetro de la Tubería (mm)	30	60	80	130	160	240	240
Altura de la Escritura (mm)	12,5	20	25	40	50	100	100

3.2. Plano Layout.

El plano Layout que se detalla en el plano D.12, presentado en el Apéndice D, sirve para orientarse dentro de la planta, apreciar de una mejor manera y ver desde otro punto de vista la distribución de la empresa, entre las secciones más importantes se tiene:

- Bodegas.
- Texturizado
- Tejeduría
- Lavado y Tinturado
- Secado
- Plegado

Gracias a esta distribución se puede ver el flujo del proceso presentado en el plano D.13 del Apéndice D que emplea la planta y si presentara

algún inconveniente darle solución al mismo de una manera rápida y eficaz.

3.3. Red de Distribución de Aire Comprimido.

Debido a que la planta textil no contaba con un plano de todo su sistema de distribución de aire comprimido, se procedió a realizar el mismo, para lo cual en un principio se hizo una inspección visual de la distribución de aire comprimido de la planta.

Se utilizó varias herramientas indispensables para elaborar los planos, estas son: calibrador, cámara fotográfica, escalera, y una cinta métrica.
Se realizaron varios bosquejos con sus respectivas medidas y elementos, los que luego una vez detallados se procedieron a dibujar en el programa SOLIDWORKS, en el cual se agregaron todos los detalles de la tubería como la geometría, el color y el tipo de material.

Se tuvieron muchas dificultades ya que en varios tramos no se podía apreciar bien la tubería debido a la dificultad del acceso, así como también se pudo observar los problemas que se tiene en la distribución actual de la planta.

3.4. Equipos Utilizados en la Auditoría.

En la auditoría de aire comprimido se utilizó tres equipos para el análisis: a) un datalogger, que consiste en un sistema de recolección de datos de presión, amperaje y caudal; b) un detector ultrasónico de fugas, que determina por medio de decibeles la localización de las fugas de aire comprimido y almacena los datos recolectados; y c) una laptop en la cual se descarga los datos obtenidos para realizar el análisis de los mismos en cuatro software instalados en la misma.

3.4.1. Datalogger

Los dos datalogger que se utilizaron son de marca Sullair modelo 02250168-299 (LogAir 3.0 Datalogger), y el modelo 12216 (LogAir 2.0 Datalogger) como se indican en las figuras 3.1 y 3.2 respectivamente, los cuales son dispositivos de almacenamiento de datos que contiene cuatro o seis puertos o canales para receptar datos de presión y amperaje, los mismos que son recolectados por medio de un transductor de presión marca Sullair modelo 02250140-415 que recibe datos de presión en un rango de 0-250 psi con una salida de 4-20 mA, y un transductor

de corriente marca Sullair modelo 02250146-774 que tiene una salida de 0-20 mA.

FIG. 3.1 LOGAIR 3.0 DATALOGGER (6 CANALES)

FIG. 3.2 LOGAIR 2.0 DATALOGGER (4 CANALES)

El datalogger es configurado por medio del software LogAir 3.0, para que este colecte los datos dentro de un periodo de tiempo en días y lo haga con cierta frecuencia en segundos, en este

caso, se colectaron datos por diez días a intervalos de tres segundos.

Los datos que fueron almacenados en el datalogger se los descarga a una computadora utilizando el programa LogAir 3.0 para luego ser utilizados en el programa SystemMate el cual permite ingresar datos del sistema de generación de aire comprimido como: temperatura del sitio, elevación, voltaje y el costo energético del mismo.

En el software ViewAir se analizan los datos colectados por medio de gráficas de Amperaje vs Tiempo, Presión vs Tiempo y Caudal vs Tiempo.

3.4.2. Detector Ultrasónico de Fugas.

Es un instrumento que detecta y localiza fugas en circuitos de aire comprimido, reconociendo sonidos de alta frecuencia asociados con fugas de aire.

Esta unidad portable consiste en micrófonos direccionales, amplificadores y filtros de audio. El detector ultrasónico de fugas que se utilizó es de marca UP modelo 3000. Como se indica en la figura 3.3.

El principio detrás de la detección de fugas por ultrasonido es el siguiente:

En una fuga de una línea de aire comprimido o de vacío, la fuga se da desde un flujo laminar a alta presión hacia una turbulencia a baja presión. La turbulencia genera un ruido el cual contiene un amplio espectro de sonido que va en un rango de frecuencias audibles hasta las no audibles. Un sensor de ultrasonido enfoca los elementos ultrasónicos en el ruido, debido a que la onda de ultrasonido es corta y el sonido escuchado en los auriculares es mayor en el sitio de la fuga. Los detectores ultrasónicos no son afectados por ruidos de fondo en el rango audible, porque estas señales son filtradas.

FIG. 3.3 DETECTOR ULTRASÓNICO DE FUGAS

El detector de ultrasonido puede encontrar fugas medianas y grandes. Las ventajas del detector ultrasónico de fugas son versatilidad, velocidad, fácil de usar, es capaz de desarrollar pruebas mientras el equipo está funcionando, y tiene la capacidad de encontrar un amplio rango de fugas. Debido a su naturaleza, el ultrasonido es direccional en transmisión, por esta razón, la señal es más alta en la localización de la fuga. Generalmente cuando se escanea alrededor de un área de prueba es muy rápido determinar el sitio de la fuga y apuntar a su localización, debido a esto la detección ultrasónica de fugas no es solamente rápida sino además precisa.

Un método más común para localizar fugas es emplear espuma de jabón sobre posibles áreas, aunque usarlo tome más tiempo.

3.5. Procedimiento de Recolección de Datos

Previa a la instalación de los recolectores de datos se realizó una inspección técnica a la planta con la finalidad de determinar los implementos necesarios para la toma de mediciones.

Para el compresor 2 se utilizó un recolector de datos (Datalogger) LogAir 3.0, como se indica en la figura 3.4, en el que se conectaron los transductores de presión y corriente, el transductor de presión es conectado a la línea de aire por medio de un acople rápido al canal o puerto cinco en el recolector de datos, como se observa en la figura 3.5, y, el transductor de corriente es conectado directamente del compresor al canal o puerto cuatro del recolector de datos, como se observa en la figura 3.6.

FIG. 3.4 RECOLECCIÓN DE DATOS COMPRESOR 2

FIG. 3.5 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

FIG. 3.6 TRANSDUCTOR DE CORRIENTE

Para el compresor 1 se utilizó un recolector de datos (Datalogger) LogAir 2.0, en el que se procedió a realizar la instalación del mismo, al igual que en el compresor 2; el transductor de presión es conectado a la línea de aire por medio de un acople rápido al canal o puerto uno en el recolector de datos, y, el transductor de corriente es conectado

directamente del compresor al canal o puerto dos del recolector de datos, como se aprecia en la figura 3.7.

FIG. 3.7 RECOLECCIÓN DE DATOS COMPRESOR 1

Una vez conectados los equipos (dataloggers), se procede a configurar los mismos utilizando un computador por medio del software LogAir 3.0, variando los siguientes parámetros:

- Fecha de inicio
- Hora de inicio
- Periodo de recolección de datos
- Fecha de finalización

El día 14 de diciembre de 2010 se procedió con la instalación y configuración de los equipos, los que fueron configurados para que por un periodo de 7 días, las 24 horas del día, y cada tres segundos recolecten datos de presión y corriente.

Finalizados los 7 días se procedió a retirar los recolectores de datos de la planta textil, para así poder ser descargados en el programa SystemMate todos los datos almacenados durante este periodo de tiempo.

3.6. Análisis y Evaluación de Resultados.

Este análisis reflejará la situación del sistema actual de aire comprimido de la empresa de textiles, explicando los sucesos que se revisan en los resultados de la recolección de datos.

Los resultados obtenidos de la recolección de datos se ilustran en las curvas de la figura A.2 del Apéndice A, donde se describe el comportamiento de la corriente, presión y caudal de los compresores 1 y 2.

Las curvas de presión y amperaje se determinan por medio de la obtención de datos a través de los transductores de presión y corriente;

la curva de flujo de los compresores se determina por medio de un software que se basa en los datos del sistema de control en la admisión de los compresores. Estos datos dependen del tipo de sistema de control y las variables que actúan son el porcentaje de la potencia consumida por los compresores vs. la capacidad de flujo entregada como se indica en la figura 3.8.

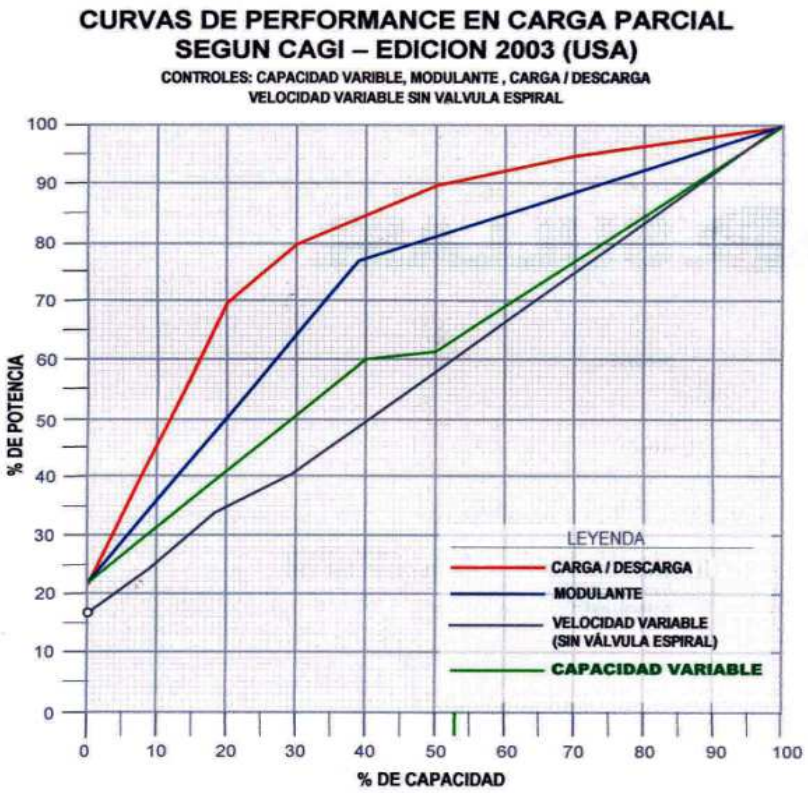

FIG. 3.8 CURVAS DE DESEMPEÑO

Las curvas del compresor 1 (Figura A.2 del Apéndice A) se mantienen estables y no tienen mucha fluctuación con excepción en 3 puntos donde se observan 3 caídas de flujo, presión y corriente que coinciden, lo cual indica que el compresor se ha apagado por 3 ocasiones. En la tabla # 14 se observa las fechas y hora de las paradas.

TABLA # 14

PARADAS DEL COMPRESOR 1

DESCRIPCIÓN	FECHA	HORA	DURACIÓN MINUTOS
Parada 1	14/12/2010	13:46:15- 13:49:30	3
Parada 2	14/12/2010	18:40:00-18:43:30	3
Parada 3	21/12/2010	02:35:15- 02:38:30	3

La parada 1 y la parada 2 se deben a elevadas temperaturas del compresor.

La parada 3 se debe a que se fue la energía eléctrica en toda la planta.

La curva de flujo del compresor 1 indica que se mantiene estable fluctuando en un rango de mayor demanda de 240 CFM a 160 CFM, y en un rango de menor demanda de 180 CFM a 150 CFM.

Se puede observar que el rango de mayor demanda se da aproximadamente de 08h00 a 20h00 (1er turno), y el rango de menor demanda se da aproximadamente de 20h00 a 08h00 (2do turno).

La curva de presión de la línea del compresor 1 indica que se mantiene estable fluctuando en un rango de 113 PSI a 105 PSI.
La curva de corriente del compresor 1 indica que se mantiene estable fluctuando en un rango de mayor demanda de 256 Amp. a 240 Amp., y en un rango de menor demanda de 246 Amp. a 233 Amp.

Se puede observar que los rangos de mayor y menor demanda de la curva de corriente del compresor 1 coinciden con los rangos de mayor y menor demanda de flujo del compresor 1, el rango de mayor demanda de corriente se da aproximadamente de 08h00 a 20h00 (1er turno) y el rango de menor demanda se da aproximadamente de 20h00 a 08h00.

Las curvas del compresor 2 (Figura A.2 del Apéndice A) se mantienen estables y no tienen mucha fluctuación con excepción en 2 puntos, donde se observa 2 caídas de flujo, presión y 1 caída de corriente, lo cual indica que el compresor se ha apagado por una sola ocasión. Las

caídas de flujo y presión que no tienen caída de corriente se deben a que personal de la industria textil manipuló el transmisor de presión ocasionando fluctuaciones en las gráficas.

El compresor 2 se apagó el día 21 de diciembre del 2010 de 02h34 a 02h59 por un período de 25 minutos, debido a que ocurrió un corte de energía eléctrica en toda la planta.

La curva de flujo del compresor 2 indica que se mantiene estable fluctuando en un rango de mayor demanda de 464 CFM. a 375 CFM. Desde el día 14 de diciembre del 2010 hasta el 17 de diciembre del 2010, luego la demanda disminuye en un rango de 450 CFM. a 362 CFM. desde el día 17 de diciembre del 2010 hasta el 20 de diciembre del 2010, después de esta fecha la demanda comienza a incrementarse debido al incremento de la producción de hilo texturizado.

La curva de presión de la línea del compresor 2 indica que se mantiene estable fluctuando en un rango de 143 PSI. a 134 PSI.

La curva de corriente del compresor 2 indica que se mantiene estable fluctuando en un rango de 352 Amp. a 330 Amp.

3.6.1. Determinación y Evaluación de Consumos Reales.

La evaluación y recolección de datos por medio del datalogger se la realizó bajo las siguientes condiciones de sitio como se muestra en la tabla # 15.

TABLA # 15

CONDICIONES DE SITIO

Ciudad	Guayaquil
País	Ecuador
Elevación m (ft)	3.96 (13)
Temperatura Ambiente ℃ (°F)	30.00 (86)
Humedad Relativa %	80%

Los equipos operan los 365 días del año, las 24 horas del día, por lo que anualmente los compresores operan 8760 horas/Año. El costo promedio de la energía eléctrica en el país es de 0.08 $ /Kwh aproximadamente.

También se debe ingresar en el programa SysteMate los datos de fábrica y de placa de cada uno de los compresores a analizar como se indica en tabla # 16.

TABLA # 16

DATOS DE FÁBRICA DE LOS COMPRESORES

NOMBRE DEL COMP.	MODELO (TIPO DE CONTROL)	POTENCIA NOMINAL Kw (HP)	EFICIENCIA DEL MOTOR	PRESIÓN PROMEDIO BAR (PSI)	FLUJO PROMEDIO m^3/min (CFM)	POTENCIA REAL CONSUMIDA BHP	POTENCIA VENTILADOR Kw (HP)
COMP1	LS16-100H (Modulación en la admisión)	74.57 (100)	0.924	7.93 (115)	12.17 (430)	114.1	2.23 (3)
COMP2	LS200S-150XH (Modulación en la admisión)	11.85 (150)	0.958	12.07 (175)	16.14 (570)	165.9	3.73 (5)

El periodo de recolección de datos fue desde las 11h00 del 14 de diciembre del 2010 hasta las 11h00 del 21 de diciembre del 2010. La tabla # 17 muestra el comportamiento del Compresor 1 y del Compresor 2 durante este periodo de tiempo bajo las condiciones de sitio mencionadas anteriormente.

TABLA # 17

RENDIMIENTO DE LOS COMPRESORES

NOMBRE DEL COMP.	POTENCIA NOMINAL Kw (HP)	% ENCENDIDO	POTENCIA PROMEDIO Kw (HP)	% CARGA ENERGÍA	% FLUJO CARGA	PRESIÓN PROMEDIO BAR (PSI)	FLUJO PROMEDIO m^3/min (CFM)	RENDIMIENTO CFM/BHP	COSTO ANUAL $
COMP1	74.56 (100)	99.9	69.45 (93.1)	83	45	7.68 (111.4)	6.31 (222)	1.95	52680
COMP2	111.85 (150)	98.6	99.89 (133.1)	95	84	9.57 (138.8)	11.01 (388.8)	3.08	73086

Como se indica en la tabla # 17, en el compresor 1 el rendimiento es de 1.95 CFM/ BHP lo que resulta ser ineficiente. En el siguiente cálculo se procede a determinar el costo energético por cada CFM:

$$\frac{1.95\ CFM}{1\ BHP}$$

$$1\ BHP = 1.15\ HP$$

$$1.15 HP = 0.8576\ Kw$$

$$1\ Kwh = 0.08\ \$$$

$$0.8576\ Kwh = 0.0686\ \$$$

$$\frac{\$\ 0.0686}{60\ min} = \$\ 0.001143$$

$$1.95\ CFM = \$\ 0.001143$$

$$1\ CFM = \$\ 0.00058$$

En el siguiente cálculo por medio de la ecuación 3.1 se determina la depreciación del compresor 1.

Valor a despreciar = 10% del precio inicial.

Vida útil estimada = 10 años.

El precio inicial del compresor 1 fue de $ 38000.

$$Depreciación\ anual = \frac{Precio\ Inicial - Valor\ a\ depreciar}{Vida\ útil\ estimada} \qquad (3.1)$$

$$Depreciación\ anual = \frac{38000 - 3800}{10}$$

$$Depreciación\ anual = \$\ 3420$$

El costo energético de los 222 ft^3 que produce el compresor 1 en 1 minuto es de $ 0.12876, el costo del mantenimiento en el año 2010 del compresor 1 fue de $ 3,000. En la tabla # 18 se muestran los costos del compresor 1 por minuto.

TABLA # 18

COSTOS DEL COMPRESOR 1 POR MINUTO

DESCRIPCIÓN	COSTO POR MINUTO $
Mantenimiento	0.0058
Energía	0.12876
Depreciación	0.0065
Total	0.14106

El valor de 1 CFM. total del compresor 1 es de 0.0006354 $.

En el compresor 2 el rendimiento es de 3.08 CFM/ BHP. En el siguiente cálculo se procede a determinar el costo energético por cada CFM:

$$\frac{3.08\ CFM}{1\ BHP}$$

$$1\ BHP = 1.15\ HP$$

$$1.15 HP = 0.8576\ Kw$$

$$1\ Kwh = \$\ 0.08$$

$$0.8576\ Kwh = \$\ 0.0686$$

$$\frac{0.0686\ \$}{60\ min} = \$\ 0.001143$$

$$3.08\ CFM = \$\ 0.001143$$

$$1\ CFM = \$\ 0.00037$$

En el siguiente cálculo por medio de la ecuación 3.1 se determina la depreciación del compresor 2.

Valor a despreciar = 10% del precio inicial.

Vida útil estimada = 10 años.

El precio inicial del compresor 2 fue de $ 58000.

$$Depreciación\ anual = \frac{58000 - 5800}{10}$$

$$Depreciación\ anual = \$\ 5220$$

El costo energético de los 388.8 ft^3 que produce el compresor 2 en 1 minuto es de $ 0.1438, el costo del mantenimiento en el año 2010 del compresor 2 fue de $ 1,487.46. En la tabla # 19 se muestra los costos del compresor 2 por minuto.

TABLA # 19

COSTOS DEL COMPRESOR 2 POR MINUTO

DESCRIPCIÓN	COSTO POR MINUTO $
Mantenimiento	0.00283
Energía	0.1438
Depreciación	0.00993
Total	0.15656

El costo total de 1 CFM. del compresor 2 es de $ 0.00040.

El desempeño anual de los compresores se ve reflejado en la tabla # 20 en la que indica los valores máximos, promedios y mínimos de presión, flujo y potencia; estos son los valores totales de consumo, así como también se puede observar que los compresores ocasionan un costo anual de $ 125,766.00.

TABLA # 20

RESUMEN DEL SISTEMA

	FLUJO m3/min (CFM)	PRESIÓN BAR (PSI)	POTENCIA Kw (HP)
Mínima	0.0	0.0	0.07 (0.1)
Promedio	16.67 (588.8)	8.54 (123.9)	175.61 (235.5)
Máxima	23.18 (818.6)	10.73 (155.6)	186.38 (249.34)
	Costo Anual	**$ 125,766.00**	

El consumo de energía de la planta en el mes de diciembre fue de 281400 Kwh. de acuerdo a la planilla eléctrica, el consumo de energía debido a las fugas fue de 6299.5 Kwh. de acuerdo a la tabla # 21.

El consumo de energía de los compresores se lo determinó en base a la potencia promedio de cada compresor de la siguiente manera:

$P_1 = 69.45\ Kw$ Potencia promedio compresor 1.

$P_2 = 99.89\ Kw$ Potencia promedio compresor 2.

En el mes de diciembre del 2010 se trabajó 25 días por lo que el número de horas fue 624.

La energía consumida por cada compresor se obtiene a través de la ecuación 3.2:

$$E_1 = \frac{Potencia * \#horas}{\eta_{motor}} \tag{3.2}$$

$$E_1 = \frac{(69.45)(624)}{0.924}$$

$$E_1 = 46901.298\ Kwh$$

$$E_2 = \frac{(99.89)(624)}{0.958}$$

$$E_2 = 65064.05\ Kwh$$

La energía total consumida por los compresores en el mes de diciembre de 2010 fue de 111965.34 Kwh,

El consumo de energía de los compresores sin considerar las fugas es de 105665.84 Kwh.

En la figura 3.9 se puede observar los costos de energía por secciones en el mes de diciembre.

En la figura 3.10 se observa el porcentaje de energía consumida en el mes de diciembre.

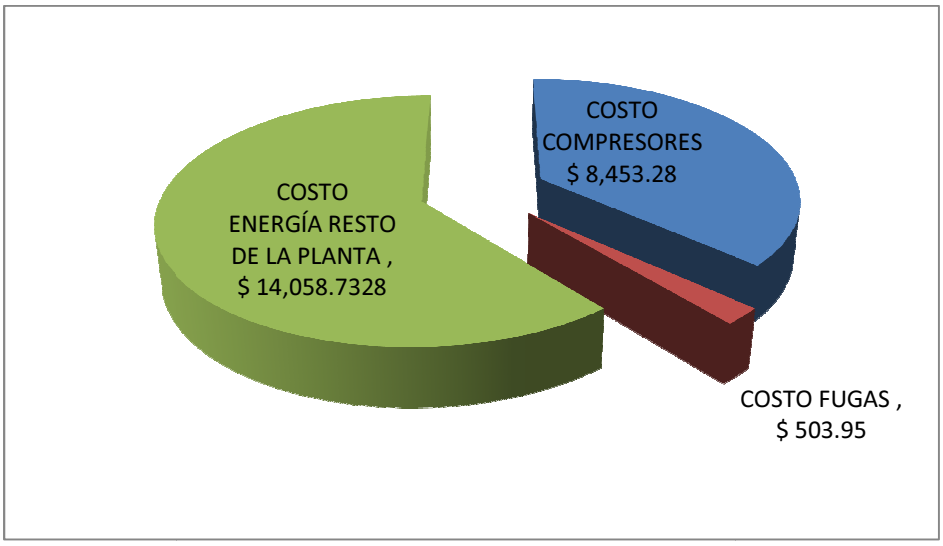

FIG 3.9 COSTO DE ENERGÍA DEL MES DE DICIEMBRE

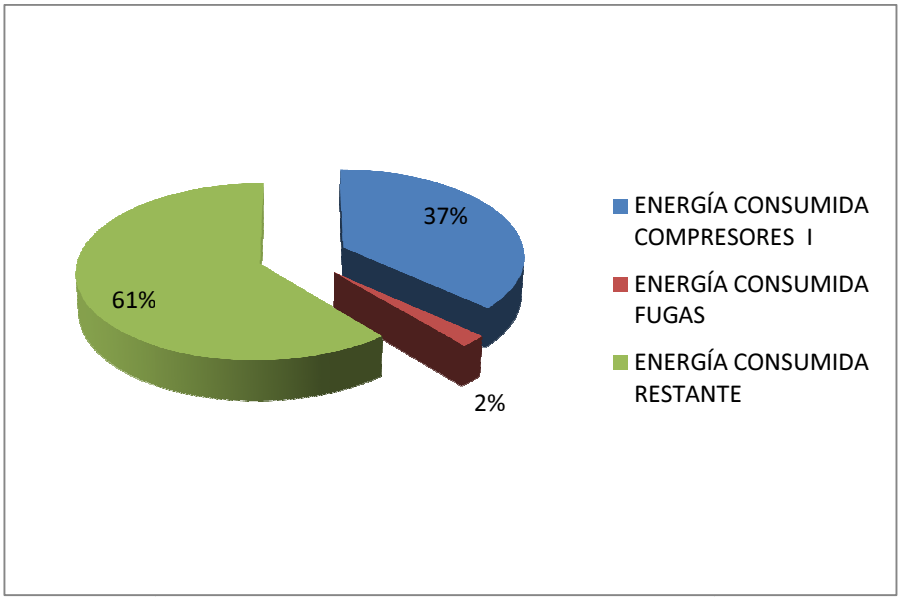

FIG. 3.10 PORCENTAJE DE CONSUMO DE ENERGÍA DEL MES DE DICIEMBRE

3.6.2. Determinación y Evaluación de Pérdidas.

Pérdidas debido a fugas.

Para analizar las pérdidas que existen en el sistema de aire comprimido se ha dado énfasis en determinar las fugas que existen en la red.

Las fugas de aire son la mayor causa de pérdida de energía en instalaciones industriales asociadas con sistemas de aire comprimido. Se requiere energía para comprimir el aire, por lo tanto la pérdida de éste es una pérdida de energía para la instalación.

En la figura 3.11 se muestra una fuga de la línea de aire comprimido, esta fuga se observa que con solución de jabón que produce burbujas.

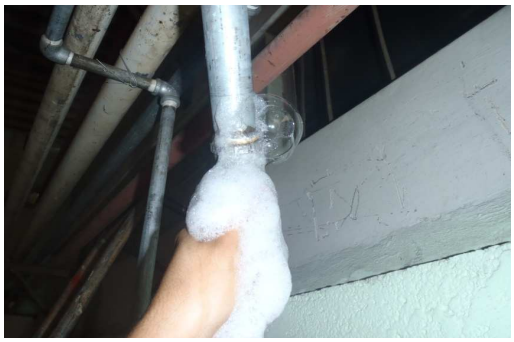

FIG. 3.11 FUGA DE AIRE COMPRIMIDO EN LA LÍNEA

TABLA # 21

FUGAS DETECTADAS EN LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

LOCALIZACIÓN	PRESIÓN DE LA FUGA BAR (PSI)	LECTURA EN db	COSTO DE FUGAS AL AÑO $	TAMAÑO DE LA FUGA M3/MIN (CFM)	CONSUMO DE ENERGÍA ANUAL (kWh)
Línea 3	8.6 (125)	49	508.94	0.104 (3.7)	6362
Dist. Prin.	8.6 (125)	44	440.59	0.09 (3.2)	5507
Drene D. P.	8.6 (125)	34	311.89	0.06 (2.3)	3899
Línea Term.	6.9 (100)	36	292.76	0.05 (2.1)	3660
Caldera 1	1.72 (25)	63	391.72	0.08 (2.8)	4897
Carpintería	5.1 (75)	56	471.18	0.09 (3.4)	5890
Taller Mtto	5.1 (75)	47	362.43	0.07 (2.6)	4530
Tejeduría	8.6 (125)	55	594.13	0.12 (4.3)	7427
Fak	3.4 (50)	40	215.86	0.04 (1.6)	2698
Drene Tanq.	8.6 (125)	56	608.65	0.12 (4.4)	7608
Drene C1	8.6 (125)	66	758.54	0.15 (5.5)	9482
Drene C2	6.9 (100)	48	438.01	0.09 (3.2)	5475
Drene Text. 1	8.6 (125)	59	652.73	0.13 (4.7)	8159
		TOTAL	6047.43	1.13 (40.1)	75594

En la tabla # 21 se muestra las fugas encontradas con el detector ultrasónico de fugas y la localización de las mismas en la red de aire comprimido.

A continuación se determina la cuantificación de pérdidas debido a las fugas de aire comprimido.

Se asume que existen condiciones estables de operación y que el aire es un gas ideal.

Datos

$T_1 = 30.2ºC = 303.2ºK$ Temperatura ambiente.

$P_1 = 101.35\ KPa$ Presión atmosférica.

$\rho = 1.16\ \frac{Kg}{m^3}$ Densidad del aire (Apéndice B, Tabla B.4).

La presión en la línea es de 861.84 KPa pero se toma en cuenta la presión absoluta.

Donde:

$P_2 = 963.19\ KPa$ Presión de la línea.

$\dot{V} = \frac{0.00175 m^3}{s}$ Flujo de la fuga de la línea 3.

Se procede a determinar el flujo másico de la fuga por medio de la ecuación 3.3 de la densidad.

$$\dot{m_{aire}} = \rho . \dot{V} \tag{3.3}$$

$$\dot{m_{aire}} = (1.16).(0.00175)$$

$$\dot{m_{aire}} = 0.002 \frac{Kg}{s}$$

De la ecuación 3.4 que describe el trabajo de entrada de un compresor bajo un proceso politrópico (que incluye un poco de enfriamiento), se obtiene:

$$W_{comp,entrada} = \frac{nRT_1}{\eta_{comp}(n-1)}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{(n-1)}{n}} - 1\right] \quad (3.4)$$

Donde:

$n = 1.4$ es el exponente politrópico de compresión.

$R = 0.2870\,\frac{KJ}{Kg.K}$ es la constante de gas ideal para el aire (Apéndice B, Tabla B.2).

$\eta_{comp} = 0.8$ es la eficiencia del compresor.

Reemplazando las variables:

$$W_{comp,entrada} = \frac{(1.4)(0.287)(303.2)}{(0.8)(1.4-1)}\left[\left(\frac{963.19}{101.35}\right)^{\frac{(1.4-1)}{1.4}} - 1\right]$$

$$W_{comp,entrada} = 343.77\,\frac{KJ}{Kg}$$

De la ecuación 3.5 que describe la potencia que se pierde se obtiene:

$$Potencia\ que\ se\ pierde = \dot{m}_{aire} \cdot W_{comp,entrada} \quad (3.5)$$

$$Potencia\ que\ se\ pierde = (0.0021)(343.77)$$

$$Potencia\ que\ se\ pierde = 0.722\ Kw$$

El compresor 2 que abastece a la línea donde está la fuga (L-3) opera 8760 horas y la eficiencia del motor es 92%, entonces se puede determinar la pérdida de energía por medio de la ecuación 3.6.

$$Pérdida\ de\ Energía = \frac{Potencia\ desperdiciada.Horas\ de\ operación}{\eta_{motor}} \quad (3.6)$$

$$Pérdida\ de\ Energía = \frac{(0.722)(8760)}{0.92}$$

$$Pérdida\ de\ Energía = 6873.9\ \text{Kwh}$$

A continuación se determina el costo de la fuga por medio de la ecuación 3.7 con los siguientes datos.

$$Costo\ del\ Kwh = \$\ 0.08$$

$$Costo\ de\ Energía = Energía\ .Costo\ del\ Kwh \quad (3.7)$$

$$Costo\ Energía = (6570)(0.08)$$

$$Costo\ Energía = \$\ 549.9\ \text{(Anual)}$$

Anualmente la fuga de aire ocasiona una pérdida de $ 549.9.

De acuerdo al programa utilizado en el equipo detector de fugas, el cual asume que la eficiencia del motor del compresor 1 es del

100%, se determina que la fuga ocasiona una pérdida de $ 505.97 al año

Se considera como una pérdida energética el hecho de que una máquina texturizadora esté consumiendo aire comprimido mientras está en mantenimiento y no es necesario el consumo del mismo. Se detectó esta falencia luego del periodo de recolección de datos. A continuación se procede a evaluar las pérdidas en el siguiente cálculo planteando el problema.

La máquina texturizadora cuenta con 108 boquillas de 2 mm. de diámetro por donde sale aire comprimido a una presión de 517.10 KPa. (75 PSI), la cual estuvo en mantenimiento por un periodo de 3 semanas.

Se asume que existen condiciones estables de operación y que el aire es un gas ideal.

Datos

$T_1 = 30.2ºC = 303.2ºK$ Temperatura ambiente.

$P_1 = 101.35\ KPa$ Presión atmosférica.

La presión en la línea es de 517.1 KPa. pero se toma en cuenta la presión absoluta.

$P_2 = 618.45\ KPa$ Presión de la línea.

De la ecuación 3.4 antes descrita se obtiene el trabajo del compresor.

$$W_{comp,entrada} = \frac{(1.4)(0.287)(303.2)}{(0.8)(1.4-1)}\left[\left(\frac{618.45}{101.35}\right)^{\frac{(1.4-1)}{1.4}} - 1\right]$$

$$W_{comp,entrada} = 255.07\,\frac{KJ}{Kg}$$

Para obtener la tasa de flujo másico de aire a través de una fuga con área transversal A se emplea la ecuación 3.8.

$$\dot{m} = C_{descarga}\left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{1}{(K-1)}}\frac{P_{línea}}{RT_{línea}}A\sqrt{KR\left(\frac{2}{K+1}\right)T_{línea}} \qquad (3.8)$$

Donde:

$K = 1.4$ es la relación de calores específicos del aire.

$C_{descarga} = 0.9$ es el coeficiente de descarga en el sitio de la fuga.

$T_{línea} = 37ºC = 310ºK$ es la temperatura de la línea de la fuga.

$P_{línea} = 618.45KPa$ es la presión absoluta de la línea de la fuga.

A : es el área transversal del orificio de diámetro 2 mm.

De la ecuación 3.9 se obtiene el área transversal.

$$A = \frac{\pi {D_i}^2}{4} \qquad (3.9)$$

$$A = \frac{\pi(2\times 10^{-3})^2}{4}$$

$$A = 3.1416 \times 10^{-6} m^2$$

Reemplazando los datos de la ecuación 3.8 se obtiene:

$$\dot{m} = (0.9)\left(\frac{2}{1.4+1}\right)^{\frac{1}{(1.4-1)}} \frac{(618.45)}{(0.287)(310)} (3.1416 \times 10^{-6}) \sqrt{(1.4)(0.287)\left(\frac{2}{1.4+1}\right)310}$$

$$\dot{m} = 1.27 \times 10^{-4} \frac{Kg}{s}$$

Por medio de la ecuación 3.5 se obtiene la potencia que se pierde.

$$Potencia\ que\ se\ pierde = (1.27 \times 10^{-4})(255.07)$$

$$Potencia\ que\ se\ pierde = 0.0324\ KW$$

La texturizadora fue abastecida de aire comprimido las 24 horas del día por 3 semanas.

Por medio de la ecuación 3.6 se obtiene la pérdida de energía, reemplazando los valores.

$$Pérdida\ de\ Energía = \frac{(0.0324)(24)}{0.92}$$

$$Pérdida\ de\ Energía = 0.8452\ \text{Kwh}$$

La energía que se pierde al día por boquilla es 0.8452 Kwh.

A continuación, por medio de la ecuación 3.7 se determina el costo de la pérdida de energía con los siguientes datos.

$$Costo\ del\ Kwh = \$\ 0.08$$

$$Costo\ desperdicio = (0.8452)(0.08)$$

$$Costo\ desperdicio = \$\ 0.0676$$

El costo diario del desperdicio por boquilla es de $ 0.0676.

El costo diario del desperdicio de las 108 boquillas de la texturizadora es $ 7.3.

El costo que originó el consumo de aire de la texturizadora durante las 3 semanas de mantenimiento es $ 153.3.

Pérdidas de presión.

A continuación se procede a cuantificar las pérdidas de presión en las líneas que abastecen a los consumidores principales, las cuales son aceptables hasta del orden del 10%. Con la información recabada durante las pruebas, se procede a determinar las pérdidas de presión por secciones.

Es necesario conocer propiedades del aire como la densidad y viscosidad dinámica (Tabla B.4 del Apéndice B) a una temperatura promedio de 30º C y 1 bar de presión ya que a estas condiciones ambientales se encuentra la ciudad de Guayaquil.

$$\rho = 1.16 \frac{Kg}{m^3}$$

$$v = 1.6 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \ (1.74 \times 10^{-4} \frac{ft^2}{s})$$

Termofijadora

Se determina el flujo y presión que circula a través de la línea de distribución de la termofijadora.

$$Q = 0.623 \frac{m^3}{min} \ (22CFM)$$

$$P = 7.58 \, BAR \ (110 \, PSI)$$

Q: Flujo

P: Presión

$$L = 27.3 \, m$$

Las longitudes equivalentes de los accesorios se ilustran en la tabla B.5 del Apéndice B.

En la tabla # 22 se presenta los accesorios de la sección correspondiente.

TABLA # 22

LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE LA SECCIÓN DE LA TERMOFIJADORA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Le UNITARIO (m)	Le TOTAL (m)
Codo 1" X 90 º	7	0.75	5.25
Válvula de bola 1"	1	0.32	0.32
Tee 1"	4	1.5	6
		Total	11.57

$$Le = 11.57\ m$$

$$Lt = L + Le$$

$$Lt = 38.87\ m$$

Donde:

L: Longitud de la línea de distribución.

Le: Longitud equivalente.

Lt: longitud total.

Con el flujo medido se determina la velocidad del fluido en la tubería, conociendo el diámetro interno de la misma.

El diámetro interno (D_i) de la tubería de 1" DN es 26.64 mm (Tabla B.6 del Apéndice B).

El caudal de aire se calcula a través de la ecuación 3.10:

$$Q = V \times A \tag{3.10}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{Q}{\pi \frac{Di^2}{4}}$$

$$V = \frac{0.623}{\pi \frac{(26.64 \times 10^{-3})^2}{4}}$$

$$V = 1117.7 \frac{m}{min} = 18.63 \frac{m}{s}$$

Con la velocidad del aire que circula por la tubería, se procede a calcular el número de Reynolds.

$$Re = \frac{V \times Di}{\upsilon}$$

$$Re = \frac{18.63 \times (26.64 \times 10^{-3})}{1.6 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 31016.42$$

La rugosidad relativa se determina por medio de la figura mostrada en la figura A.3 del Apéndice A, el material de la tubería es acero galvanizado.

$$\frac{e}{D} = 0.006$$

Con los resultados del número de Reynolds y la rugosidad relativa se determina el factor de fricción f a través del diagrama de Moody (Figura A.4 del Apéndice A).

$$f = 0.035$$

Luego se determina las pérdidas de carga por medio de la ecuación 3.11 de Darcy-Weisbach.

$$H_f = \frac{f\, L\, V^2}{Di\ 2g} \qquad (3.11)$$

$$H_f = \frac{(0.035)(38.87)(18.63)^2}{(26.64 \times 10^{-3})(2)(9.8)}$$

$$H_f = 904.16\, m$$

Por medio de la ecuación 3.12 de Bernoulli se determina la variación de presión entre dos puntos de la red, se asume que la densidad y la velocidad del aire no varían en la red.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2}{2g} + Z_2 + H_f \qquad (3.12)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = (Z_2 - Z_1) + H_f$$

$$\Delta P = \rho\left[(Z_2 - Z_1) + H_f\right]$$

$$Z_1 = 1.5m$$

$$Z_2 = 2.77m$$

$$\Delta P = 1.15[(2.77 - 1.5) + 904.16]$$

$$\Delta P = 1041.24\ \frac{Kg}{m^2} = 0.102\ BAR(1.48\ PSI)$$

$$P_1 = 7.58\ BAR\ (110\ PSI)$$

$$\%\Delta P = 1.35\%$$

Este porcentaje de caída de presión no supera el 10 % por lo que es muy aceptable. En el caso de que la caída de presión supere el 10% es recomendable aumentar el diámetro de la tubería.

Para las siguientes secciones se ha desarrollado una hoja de cálculo en Excel que facilite la obtención de resultados.

En la tabla # 23 se describe la lista de accesorios que forman parte de la sección de la texturizadora 2, la tubería que se utiliza es acero galvanizado de 2" DN cuyo diámetro interno es de 52.48 mm. El flujo que circula en esta sección es de 2.26 m^3/min (80CFM) y la longitud es de 51 m.

TABLA # 23

LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE LA SECCIÓN DE LA TEXTURIZADORA 2.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Le UNITARIO (m)	Le TOTAL (m)
Codo estándar de 2" x 90º	7	1.5	10.5
Válvula de bola de 2"	1	0.65	0.65
Tee estándar de 2"	2	3	6
		Total	17.15

En la tabla # 24 se muestra la hoja de cálculo de la sección de la texturizadora 2.

TABLA # 24

HOJA DE CÁLCULO PARA LA SECCIÓN DE LA TEXTURIZADORA 2.

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
Q	2.2653	m^3/min	Flujo
D	52.48	Mm	Diámetro interno de tubería
V	17.45403831	m/s	Velocidad
υ	0.000016	m^2/s	Viscosidad cinemática
Re	57249.25		Número de Reynolds
e/d	0.003		Rugosidad relativa (tablas)
f	0.028		Factor de fricción
L	51	m	Longitud de tubería
Le	17.15	m	Longitud equivalente
LT	68.15	m	Longitud Total
Hf	565.152748	m	Pérdidas
p	1.16	Kg/m^3	Densidad del aire
Z1	1	m	Altura punto 1
Z2	2.5	m	Altura punto 2
ΔP	0.064460809	Bar	Perdida de presión
ΔP	0.934681737	PSI	
P1	7.24	Bar	Presión en el punto 1
%ΔP	0.890%	%	Porcentaje de pérdida de presión entre el punto 1 y 2.

La pérdida de presión en la sección de la texturizadora 2 no supera el 10%, por lo que es muy aceptable.

En la tabla # 25 se describe la lista de accesorios que forman parte de la sección de tejeduría, la tubería que se utiliza es de acero galvanizado de 1.5” DN. cuyo diámetro interno es de 40.94 mm. El flujo que circula en esta sección es de 0.17 m^3/min. (6 CFM.) y la longitud es de 94 m.

TABLA # 25

LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE LA SECCIÓN DE TEJEDURÍA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Le UNITARIO (m)	Le TOTAL (m)
Codo estándar de 1.5” x 90º	13	1.14	14.82
Válvula de bola de 1.5”	1	0.5	0.5
Tee estándar de 1.5”	3	2.28	6.84
		Total	22.16

En la tabla # 26 se muestra la hoja de cálculo de la sección de tejeduría.

TABLA # 26

HOJA DE CÁLCULO PARA LA SECCIÓN DE TEJEDURÍA.

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
Q	0.1699	m^3/min	Flujo
D	40.94	mm	Diámetro interno de tubería
V	2.15107501	m/s	Velocidad
υ	0.000016	m^2/s	Viscosidad cinemática
Re	5504.06		Número de Reynolds
e/d	0.004		Rugosidad relativa (tablas)
f	0.041		Factor de fricción
L	94	m	Longitud de tubería
Le	22.16	m	Longitud equivalente
LT	116.16	m	Longitud Total
Hf	27.46297997	m	Pérdidas
p	1.16	Kg/m^3	Densidad del aire
Z1	1	m	Altura punto 1
Z2	1	m	Altura punto 2
ΔP	0.003124111	Bar	Perdida de presión
ΔP	0.045299605	PSI	
P1	7.93	Bar	Presión en el punto 1
%ΔP	0.039%	%	Porcentaje de pérdida de presión entre el punto 1 y 2.

La pérdida de presión en la sección de tejeduría no supera el 10%, por lo que es muy aceptable.

En la tabla # 27 se describe la lista de accesorios que forman parte de la sección de lavado-tinturado, la tubería que se utiliza es de acero galvanizado de 1" DN. cuyo diámetro interno es de 26.64 mm. El flujo que circula en esta sección es de 1.36 m^3/min. (48 CFM.) y la longitud es de 27 m.

TABLA # 27

LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE LA SECCIÓN DE LAVADO-TINTURADO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Le UNITARIO (m)	Le TOTAL (m)
Codo estándar de 1" x 90º	5	0.75	3.75
Válvula de bola de 1"	1	0.32	0.32
Tee estándar de 1"	6	1.5	9
		Total	13.07

En la tabla # 28 se muestra la hoja de cálculo de la sección de lavado-tinturado.

TABLA # 28

HOJA DE CÁLCULO PARA LA SECCIÓN DE LAVADO-TINTURADO

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
Q	1.35920851	m^3/min	Flujo
D	26.64	mm	Diámetro interior de tubería
V	40.64203979	m/s	Velocidad
υ	0.000016	m^2/s	Viscosidad cinemática
Re	67669.00		Número de Reynolds
e/d	0.006		Rugosidad relativa (tablas)
f	0.034		Factor de fricción
L	27	m	Longitud de tubería
Le	13.07	m	Longitud equivalente
LT	40.07	m	Longitud Total
Hf	4309.818302	m	Pérdidas
p	1.16	Kg/m^3	Densidad del aire
Z1	1	m	Altura punto 1
Z2	2.5	m	Altura punto 2
ΔP	0.490443342	Bar	Pérdida de presión
ΔP	7.111428461	PSI	Pérdida de presión
P1	7.931034483	Bar	Presión en el punto 1
%ΔP	6.184%	%	Porcentaje de pérdida de presión entre el punto 1 y 2.

La pérdida de presión en la sección de lavado-tinturado no supera el 10%, por lo que es muy aceptable.

En la tabla # 29 se describe la lista de accesorios que forman parte de la sección de la caldera 1, la tubería que se utiliza es de acero

galvanizado de ½" DN. cuyo diámetro interno es de 15.76 mm. El flujo que circula en esta sección es de 0.424 m^3/min. (15 CFM.) y la longitud es de 15.5 m.

TABLA # 29

LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE LA SECCIÓN DE LA CALDERA 1

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Le UNITARIO (m)	Le TOTAL (m)
Codo estándar de ½" x 90º	3	0.39	1.17
Válvula de bola de ½"	1	0.17	0.17
Tee estándar de ½"	1	0.78	0.78
		Total	2.12

En la tabla # 30 se muestra la hoja de cálculo de la sección de la caldera 1.

TABLA # 30

HOJA DE CÁLCULO PARA LA SECCIÓN DE LA CALDERA 1

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
Q	0.424752659	m^3/min	Flujo
D	15.76	mm	Diámetro interior de tubería
V	36.28954584	m/s	Velocidad
υ	0.000016	m^2/s	Viscosidad cinemática
Re	35745.20		Número de Reynolds
e/d	0.009		Rugosidad relativa (tablas)
f	0.039		Factor de fricción
L	15.5	m	Longitud de tubería
Le	2.12	m	Longitud equivalente
LT	17.62	m	Longitud Total
Hf	2929.687465	m	Pérdidas
p	1.16	Kg/m^3	Densidad del aire
Z1	1	m	Altura punto 1
Z2	1	m	Altura punto 2
ΔP	0.333272937	Bar	Pérdida de presión
ΔP	4.832457582	PSI	Pérdida de presión
P1	7.586206897	Bar	Presión en el punto 1
%ΔP	4.393%	%	Porcentaje de pérdida de presión entre el punto 1 y 2.

La pérdida de presión en la sección de la caldera 1 no supera el 10%, por lo que es muy aceptable.

En la tabla # 31 se describe la lista de accesorios que forman parte de la sección de la caldera 2, la tubería que se utiliza es de acero

galvanizado de ½" DN. cuyo diámetro interno es de 15.76 mm. El flujo que circula en esta sección es de 0.623 m^3/min. (22 CFM.) y la longitud es de 13 m.

TABLA # 31

LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE LA SECCIÓN DE LA CALDERA 2

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Le UNITARIO (m)	Le TOTAL (m)
Codo estándar de ½" x 90º	5	0.39	1.95
Válvula de bola de ½"	2	0.17	0.34
Tee estándar de ½"	2	0.78	1.56
		Total	3.85

En la tabla # 32 se muestra la hoja de cálculo de la sección de la caldera 2.

TABLA # 32

HOJA DE CÁLCULO PARA LA SECCIÓN DE LA CALDERA 2

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
Q	0.622970567	m^3/min	Flujo
D	15.76	mm	Diámetro interior de tubería
V	53.22466724	m/s	Velocidad
υ	0.000016	m^2/s	Viscosidad cinemática
Re	52426.30		Número de Reynolds
e/d	0.009		Rugosidad relativa (tablas)
f	0.038		Factor de fricción
L	13	m	Longitud de tubería
Le	3.85	m	Longitud equivalente
LT	16.85	m	Longitud Total
Hf	5872.149814	m	Pérdidas
p	1.16	Kg/m^3	Densidad del aire
Z1	1	m	Altura punto 1
Z2	1	m	Altura punto 2
ΔP	0.667999108	Bar	Pérdida de presión
ΔP	9.685987067	PSI	Pérdida de presión
P1	7.586206897	Bar	Presión en el punto 1
%ΔP	8.805%	%	Porcentaje de pérdida de presión entre el punto 1 y 2.

La pérdida de presión en la sección de la caldera 2 no supera el 10%, por lo que es aceptable.

En la tabla # 33 se describe la lista de accesorios que forman parte de la sección de la texturizadora 1, la tubería que se utiliza es de

acero galvanizado de 3” DN cuyo diámetro interno es de 77.92 mm. El flujo que circula en esta sección es de 10.87 m^3/min (384.1CFM) y la longitud es de 76.2 m.

TABLA # 33

LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE LA SECCIÓN DE LA TEXTURIZADORA 1

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Le UNITARIO (m)	Le TOTAL (m)
Codo estándar de 3” x 90º	8	2.28	18.24
Codo estándar de 3” x 45º	2	1.21	2.42
Válvula de bola de 3”	1	0.17	0.17
Tee estándar de 3“	4	0.78	3.12
		Total	23.95

En la tabla # 34 se muestra la hoja de cálculo de la sección de la texturizadora 1.

TABLA # 34

HOJA DE CÁLCULO PARA LA SECCIÓN DE LA TEXTURIZADORA 1

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
Q	10.87649977	m^3/min	Flujo
D	77.92	mm	Diámetro interno de tubería
V	38.01448575	m/s	Velocidad
υ	0.000016	m^2/s	Viscosidad cinemática
Re	185130.55		Número de Reynolds
e/d	0.0019		Rugosidad relativa (tablas)
f	0.024		Factor de fricción
L	76.2	m	Longitud de tubería
Le	23.95	m	Longitud equivalente
LT	100.15	m	Longitud Total
Hf	2274.340158	m	Pérdidas
p	1.16	Kg/m^3	Densidad del aire
Z1	1.2	m	Altura punto 1
Z2	1.8	m	Altura punto 2
ΔP	0.25879074	Bar	Pérdida de presión
ΔP	3.752465731	PSI	Pérdida de presión
P1	9.793103448	Bar	Presión en el punto 1
%ΔP	2.643%	%	Porcentaje de pérdida de presión entre el punto 1 y 2.

La pérdida de presión en la sección de la texturizadora 1 no supera el 10%, por lo que es aceptable.

En la tabla # 35 se describe la lista de accesorios que forman parte de la sección de la máquina fak, la tubería que se utiliza es de

acero galvanizado de ½" DN. cuyo diámetro interno es de 15.76 mm. El flujo que circula en esta sección es de 0.113 m^3/min. (4 CFM.) y la longitud es de 17 m.

TABLA # 35

LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE LA SECCIÓN DE LA MÁQUINA FAK

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Leq UNITARIO (m)	Leq TOTAL (m)
Codo estándar de ½" x 90º	3	0.39	1.17
Válvula de bola de ½"	2	0.17	0.34
Tee estándar de ½"	2	0.78	1.56
		Total	3.07

En la tabla # 36 se muestra la hoja de cálculo de la sección de la máquina FAK.

TABLA # 36

HOJA DE CÁLCULO PARA LA SECCIÓN DE LA MÁQUINA FAK

Símbolo	Valor	Unidades	Descripción
Q	0.113267376	m3/min	Flujo
D	15.76	mm	Diámetro interno de tubería
V	9.677212225	m/s	Velocidad
υ	0.000016	m2/s	Viscosidad cinemática
Re	9532.05		Número de Reynolds
e/d	0.009		Rugosidad relativa (tablas)
f	0.044		Factor de fricción
L	17	m	Longitud de tubería
Le	3.07	m	Longitud equivalente
LT	20.07	m	Longitud Total
Hf	267.7246104	m	Pérdidas
p	1.16	Kg/m3	Densidad del aire
Z1	1.5	m	Altura punto 1
Z2	1.5	m	Altura punto 2
ΔP	0.030455592	Bar	Pérdida de presión
ΔP	0.441606089	PSI	Pérdida de presión
P1	7.586206897	Bar	Presión en el punto 1
%ΔP	0.401%	%	Porcentaje de pérdida de presión entre el punto 1 y 2.

La pérdida de presión en la sección de la máquina fak no supera el 10%, por lo que es aceptable.

En la tabla # 37 se muestra el resumen de las pérdidas de presión de las secciones.

TABLA # 37

RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS DE PRESIÓN DE LAS SECCIONES

SECCIÓN	PÉRDIDA DE PRESIÓN (% ΔP)
Termofijadora	1.35
Texturizadora 2	0.89
Tejeduría	0.039
Lavado-Tinturado	6.184
Caldera 1	4.393
Caldera 2	8.805
Texturizadora 1	2.643
Fak	0.401

CAPÍTULO 4

4. OPTIMIZACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA PLANTA.

Con el análisis de los resultados obtenidos en la auditoría se pueden realizar mejoras al sistema de aire comprimido, estas mejoras se analizarán en cada una de las secciones del sistema.

Cabe mencionar que es necesario que el personal técnico operativo de la empresa que está a cargo de los compresores, sea capacitado a fin de llevar a cabo un control de los compresores.

4.1. Mejoras en el Sistema de Generación.

Se recomienda adquirir un equipo nuevo para reemplazar al compresor 1, ya que de acuerdo a los resultados del estudio de la auditoría energética se ha detectado que existe una oportunidad de conservación de energía que significa un ahorro económico significativo para la empresa. El equipo que se recomienda adquirir es un compresor de marca Sullair modelo 4509 cuya ficha técnica está en la Tabla C.3 del Apéndice C. Se ha seleccionado este tipo de compresor para mantener la misma marca de los compresores instalados.

A continuación en la tabla # 38 se describe el consumo energético del compresor recomendado.

TABLA # 38
DESEMPEÑO DEL COMPRESOR SULLAIR 4509

NOM. COMPR.	POTENCIA Kw (HP) NOMINAL	POTENCIA Kw (HP) PROMEDIO	% CARGA ENERGÍA	% FLUJO CARGA	PRESIÓN PROMEDIO BAR (PSI)	FLUJO PROMEDIO m^3/min (CFM)
Sullair 4509	44.74 (60)	42.5 (57)	95	83.14	7.68 (111.4)	6.31 (222)

De acuerdo a la figura 3.8 se determina el porcentaje de consumo de energía del equipo recomendado a través del flujo promedio que se requiere para abastecer las áreas que actualmente son abastecidas por el compresor 1, en el siguiente cálculo por medio de la ecuación 3.2 se estima el consumo energético anual y por medio de la ecuación 3.7 se estima el costo del consumo energético anual de este equipo.

$P = 42.5\ Kw$ Potencia promedio del compresor recomendado.

$$E = \frac{(42.5)(8760)}{0.936}$$

$$E = 397756.4\ Kwh$$

$$Costo = \$\ 0.08/Kwh$$

$$Costo\ anual = (397756.4\ )(0.08\ )$$

$$Costo\ anual = \$\ 31820.5$$

$$Costo\ por\ minuto = 0.061\ \$$$

El costo de obtener 222 CFM es de $ 0.061, entonces el costo de 1 CFM es de $ 0.0002727.

$$1\ BHP = 1.15\ HP$$

$$1.15HP = 0.8576\ Kw$$

$$Costo = \$\ 0.08\ /\ Kwh$$

$$0.8576\ Kwh = \$\ 0.0686$$

$$\frac{\$\ 0.0686}{60\ min} = \$\ 0.001143/min$$

$$\frac{\$\ 0.001143}{\$\ 0.0002727} = \frac{4.19\ CFM}{1BHP}$$

El rendimiento al usar el nuevo compresor alcanzará el valor de 4.19 CFM. por 1 BHP.

Además, se recomienda cumplir con el mantenimiento preventivo recomendado por el fabricante, esto es importante ya que alarga la vida útil de los compresores y mejora su desempeño.

Es necesario instalar válvulas de purga temporizada en el post enfriador (drenaje) del compresor 2 para evitar el desperdicio de aire comprimido mientras se elimina condensado.

A continuación se muestra en las tablas # 39 y 40 una lista básica de repuestos a utilizar anualmente por cada compresor.

TABLA # 39

LISTA DE REPUESTOS DEL COMPRESOR 4509.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Filtro de aceite	8
2	Filtro de aire	4
3	Filtro separador	1
4	Galones de aceite	6

TABLA # 40

LISTA DE REPUESTOS DEL COMPRESOR 2

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Filtro de aceite	8
2	Filtro de aire	8
3	Filtro separador (primario y secundario)	1
4	Galones de aceite	10

4.2. Mejoras del Sistema de Tratamiento.

Se recomienda instalar secadores de tipo refrigerativo, pre filtros y post filtros para cada compresor. La instalación de los secadores reducirá un 28% la humedad de todo el sistema, de acuerdo a la Tabla C.4 del Apéndice C, cada secador tendrá un pre filtro que retiene partículas de 1 micra o mas y un post filtro que retiene partículas de 0.01 micras en adelante para evitar el paso de aerosoles de aceite, agua y partículas.

Siguiendo estas recomendaciones el porcentaje de humedad que entra a la línea sería del 4 % y la calidad del aire a obtener de acuerdo a la norma ISO 8573.1 es de clase 2 en suciedad, clase 4 en agua y clase 2 en aceite.

De acuerdo al flujo promedio de aire comprimido se elige la capacidad de los secadores tomando en cuenta un sobredimensionamiento debido a las condiciones ambientales, mientras que la capacidad de los filtros se elegirá de acuerdo a la mayor demanda de aire.

Los datos obtenidos del compresor 1 se muestran en la tabla # 41.

TABLA # 41

DATOS DEL COMPRESOR 1.

DESCRIPCIÓN	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
Flujo m^3/min (CFM)	6.79 (240)	4.53 (160)	5.66 (200)
Presión BAR (PSI)	7.79 (113)	7.24 (105)	7.51 (109)
Temperatura de sitio ºC (ºF)	38 (100.4)	26 (78.8)	32 (89.6)

La temperatura a la salida del compresor 1 es 40.4 ºC (104.7 ºF), esta temperatura estaría en el lado de la admisión del secador, la humedad relativa promedio del sitio del compresor 1 es 77.24%.

La capacidad nominal del secador 1 que se recomienda adquirir es de 7.08 m^3/min. (250 CFM.) debido a que se sobredimensiona un 30% debido a las condiciones del sitio.

En este caso la capacidad de los filtros a utilizar es de 6.65 m^3/min. (235 CFM), los mismos que se recomiendan adquirir.

Los datos obtenidos del compresor 2 se muestran en la tabla # 42.

TABLA # 42

DATOS DEL COMPRESOR 2

VARIABLE	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
Flujo m^3/min (CFM)	13.13 (464)	10.61 (375)	11.86 (419)
Presión BAR (PSI)	9.79 (142)	9.23 (134)	9.51 (138)
Temperatura de sitio ºC (ºF)	38 (100.4)	24 (75.2)	31 (87.8)

La temperatura a la salida del compresor 2 es 45.2 ºC (113.36 ºF), esta temperatura estaría en el lado de la admisión del secador, la humedad relativa promedio del sitio del compresor 2 es 81.48%.

La capacidad nominal del secador 2 que se recomienda adquirir es de 19.82 m^3/min (700 CFM) debido a que se sobredimensiona un 30% debido a las condiciones del sitio.

El pre filtro y el post filtro a utilizar se ha seleccionado con respecto al mayor flujo. El mayor flujo es de 13.13 m^3/min (464 CFM) entonces se ha seleccionado filtros de 13.16 m^3/min (465 CFM) de capacidad.

A continuación en la tabla # 43 se muestra los elementos a utilizar en las mejoras del sistema de tratamiento de aire comprimido.

TABLA # 43
ELEMENTOS A UTILIZAR EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD NOMINAL m^3/min (CFM)
Secador 1	7.08 (250)
Pre filtro 1	6.65 (235)
Post filtro 1	6.65 (235)
Secador 2	19.82 (700)
Pre filtro 2	13.16 (465)
Post filtro 2	13.16 (465)

4.3. Mejoras del Sistema de Distribución.

Las mejoras que se proponen en el sistema de distribución de aire son las siguientes:

La texturizadora 1 seguirá siendo independiente, el compresor 2 cubrirá la demanda de la misma.

La distribución de aire generada por el compresor 1 pasa por un tanque deshumificador, luego es dirigido hacia el sistema de tratamiento de aire correspondiente para finalmente pasar por un tanque de almacenamiento antes de ir al distribuidor principal.

Se propone ordenar las líneas que salen del distribuidor principal de una forma más sencilla. Esta alternativa tiene 2 entradas de aire, 1 drenaje y 3 salidas que distribuyen aire de la siguiente manera, tal como se muestra en la figura 4.1:

1. L-1 es una línea auxiliar que abastece de aire al distribuidor principal en el caso de que el compresor 1 no esté en funcionamiento.
2. L-2 es la entrada de aire por parte del compresor 1.

3. L-3 es la línea de abastecimiento de la texturizadora 2, termofijadora, tejeduría, fak, caldera 2, carpintería, taller de soldadura y reparación.
4. L-4 es la línea de abastecimiento de aire del área de lavado-tinturado y del taller automotriz.
5. L-5 es la línea de abastecimiento de aire de la caldera 1.
6. C-3 es la línea de drenaje del distribuidor principal.

Se debe instalar bajantes tipo cuello de ganso en cada uno de los puntos de consumo de aire para evitar el arrastre de condensado a los puntos de consumo. También se recomienda que las tuberías horizontales tengan una pendiente del 2% en dirección del flujo de aire comprimido para garantizar que el condensado se desplace hacia el punto de drenaje.

ITEM	DESCRIPCIÓN
D-1	DISTRIBUIDOR PRINCIPAL
L-1	LÍNEA 1 AUXILIAR COMPRESOR 2
L-2	LÍNEA DE ALIMENTACIÓN COMPRESOR 1
L-3	LÍNEA 3 TEXTURIZADORA 2-TERMOFIJADORA-TEJEDURIA-FAK-CALDERA 2
L-4	LÍNEA 4 LAVADO TINTURADO
L-5	LÍNEA 5 CALDERA 1
C-3	DRENE DISTRIBUIDOR PRINCIPAL

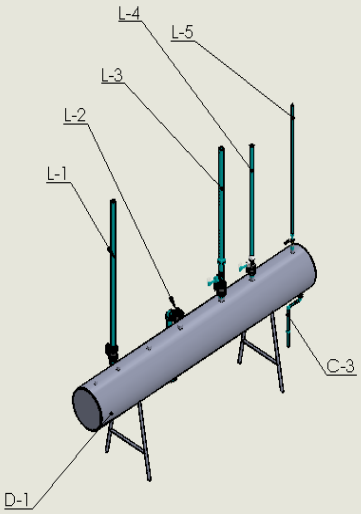

FIG. 4.1 MEJORAS EN EL DISTRIBUIDOR PRINCIPAL DE AIRE

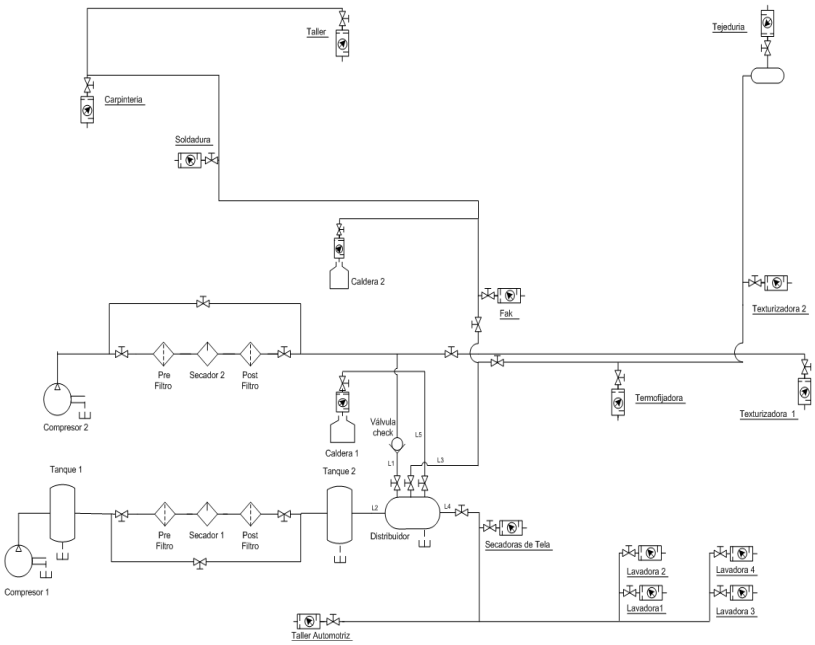

FIG. 4.2 ESQUEMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PROPUESTO

Ventajas.

Los bajantes tipos cuellos de ganso permiten abastecer de aire a los puntos de consumo sin arrastrar condensado.

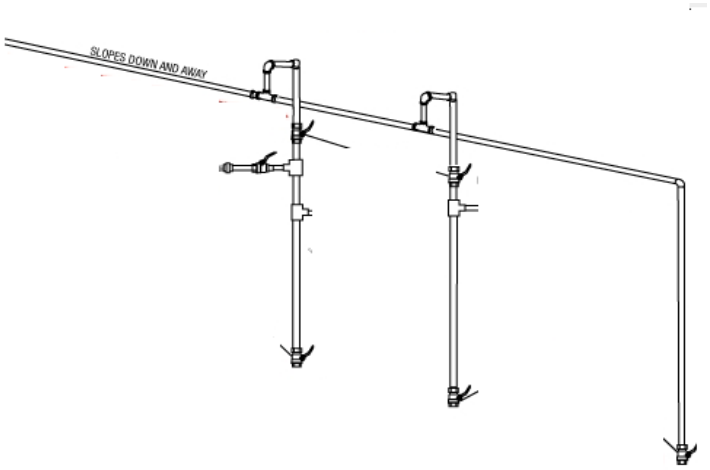

FIG. 4.3 BAJANTE TIPO CUELLO DE GANSO

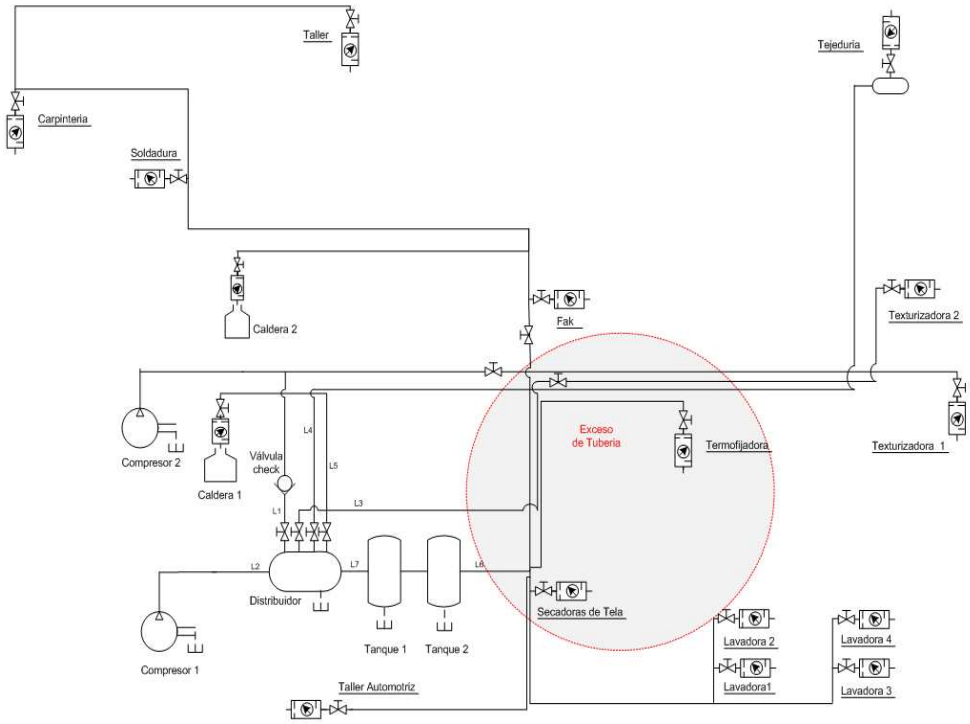

FIG. 4.4 ESQUEMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ACTUAL

En la figura 4.4 se muestra como opera actualmente el sistema de distribución, el que presenta un exceso de tubería en sus líneas de distribución, pero esto no impide su normal funcionamiento, aunque se podría haber realizado una instalación mejor distribuida como el esquema propuesto en este estudio, mostrado a través de la figura 4.2

4.4. Sistema recomendado para la Planta Industrial.

Se propone la instalación de un nuevo compresor marca SULLAIR modelo 4509 de 60 HP, secadores y filtros con su respectivo bypass para mejorar la calidad del aire y tener una mayor vida útil de equipos y elementos conexos que operan a lo largo de la red de distribución de aire. Además realizar la instalación de bajantes tipo cuello de ganso para evitar arrastre de condensado en los puntos de consumo principales.

De acuerdo a las mejoras a implementar en el sistema de generación, se propone adquirir el compresor antes mencionado debido al ahorro significativo en el consumo energético anual que este provocará, como se indica en la tabla # 44.

TABLA # 44
COMPARACIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ANUAL DEL COMPRESOR 1 VS. EL EQUIPO PROPUESTO

	DESCRIPCIÓN	CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA KWH	COSTO DE ENERGÍA $/ AÑO
Existente	Compresor 1	658422.0779	52680
Propuesto	Compresor Sullair 4509	397756.4	31820
	Ahorro	260665.67	20860

Además, se deberá instalar válvulas temporizadas de drenaje en el postenfriador del compresor 2, y en el drenaje de los tanques de almacenamiento.

4.5. Presupuesto Requerido para Implementar Mejoras.

A continuación en la tabla # 45 se detalla el costo de los equipos, accesorios e instalación que se requiere para la implementación de las mejoras propuestas. La cotización se realizó acorde a los precios actuales del mercado nacional.

TABLA # 45

COTIZACIÓN DE EQUIPOS, ACCESORIOS E INSTALACIÓN.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ($)	PRECIO TOTAL ($)
Equipos			
Compresor Sullair 4509	1	29565	29565
Secador Sullair SRL-250	1	6503	6503
Secador Sullair SRL-700	1	13682	13682
Filtros			
Pre Filtro Sullair SCF-235	1	886	886
Post Filtro Sullair SCH-235	1	886	886
Pre Filtro Sullair SCF-465	1	1679	1679
Post Filtro Sullair SCH-465	1	1679	1679
Accesorios			

Válvula de drene temporizado 1/2 "	3	198	594
Tubo 2"	2	50,85	101.7
Codo 2"	10	1,62	16.2
Tee 2"	6	2,52	15.12
Union Universal 2"	5	1,36	6.8
Bushing 2"-1"	4	1,65	6.6
Válvula de Bola 2"	6	26,35	158.1
Tubo 1"	2	24,05	48.1
Codo 1"	2	0,55	1.1
Bushing 1"-3/4"	1	0,41	0.41
Tubo 3/4"	1	18,02	18.02
Codo 1/2"	4	0,23	0.92
Union Universal 1/2"	2	1,19	2.38
Tubo 1/2"	1	13	13
Mano de obra			
Instalación de los equipos			1700
Improvistos			176.08
Transporte			100
		Total	57,839,oo

El costo total de la implementación a realizar es de $ 57,839.00 (cincuenta y siete mil ochocientos treinta y nueve dólares americanos). El costo no incluye IVA.

CAPÍTULO 5

5. Análisis Económico

De acuerdo al presupuesto requerido analizado anteriormente, se realiza un análisis del retorno de la inversión por medio del análisis de pérdidas y costo de inversión.

En la figura 5.1 se detalla los porcentajes de ahorro, donde la energía eléctrica es el porcentaje más alto ya que se puede ahorrar un valor de $ 20,860.00 al año, en fugas se puede ahorrar $ 6,047.43 al año y en repuestos averiados se puede ahorrar $ 2,464.87 al año.

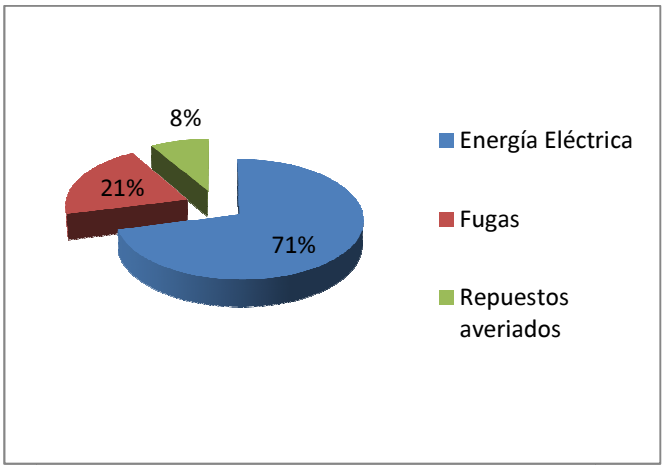

FIG. 5.1 PORCENTAJES DE AHORRO

A continuación en la tabla # 46 se detallan las pérdidas económicas anuales debido a las fugas, elementos que se dañan debido a la mala calidad del aire, desperdicio energético que alcanza el valor de $ 29,372.30. Así mismo se muestra la inversión a realizar la cual alcanza el valor de $57,839.00. Solamente para tener una idea, el ahorro en costos de energía eléctrica y equipos conexos del sistema actual bordea el 50.8% de la inversión.

TABLA # 46

COSTO DE PÉRDIDAS E INVERSIÓN.

DESCRIPCIÓN	COSTO $
Pérdidas	
Costo de fugas	6047,43
Costo de repuestos	2464,87
Costo desperdicio energético	20860
Total	**29372.3**
Inversión	
Costo de Mejoras	57839

La inversión que deberá realizar la empresa para reducir los costos de producción es de $ 57,839.

Para calcular el tiempo de retorno de la inversión se procede a realizar el siguiente cálculo utilizando la ecuación 5.1:

$$\frac{Costo\ Inversión}{Costo\ Pérdidas\ anuales} = Retorno\ de\ Inversión\ en\ años \qquad (5.1)$$

$$\frac{57839{,}00}{29372.3} = 1.97\ años$$

Por lo tanto la inversión que deberá efectuar la empresa será recuperada en alrededor de 1.97 años.

Si la empresa decidiera vender el compresor 1, este podría alcanzar el valor de $ 10,000.00 en el mercando nacional, por lo tanto el tiempo de retorno será menor, esto es, alrededor de 1.63 años.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

- La mayor pérdida que ocurre en la planta es por mantener operando un compresor mal seleccionado.

- Al tener un equipo sobredimensionado causa que el factor de potencia disminuya, lo que causa penalizaciones en la planilla de consumo eléctrico.

- Las fugas se detectan más rápido utilizando un detector ultrasónico en comparación con la utilización de solución de jabón.

- La inversión para implementar mejoras en el sistema de aire comprimido en la planta textil es viable y el retorno de la misma es de 1.97 años aproximadamente.

- La humedad en el sistema de aire comprimido tiene un alto porcentaje, lo que no es apropiado para el funcionamiento del sistema.

Recomendaciones.

- No mantener abiertas las válvulas de los drenajes debido a que actúan como fugas de aire si no existe condensado.

- Instalar el compresor recomendado, debido a su mayor eficiencia, lo cual generara un ahorro significativo.

- Utilizar válvulas temporizadas para los drenajes, debido a que si se utiliza válvulas de bola se necesita mayor atención por parte del operador para evacuar el condensado o para evitar que se desperdicie aire comprimido.

- El sistema no supera el 10% de pérdida de presión, por lo que no es necesario hacer modificaciones en la distribución, pero en un inicio si se pudo hacer un ahorro significativo en la instalación haciendo una mejor distribución en el sistema.

- Instalar secadores y filtros para mejorar la calidad de aire del sistema de aire comprimido, para tener una mayor vida útil en equipos, elementos conexos y accesorios, debido a que no habrá demasiado arrastre de condensado. Hay que tomar en cuenta que se necesitan instalar by-passes para labores de mantenimiento del sistema de tratamiento.

- Realizar labores de mantenimiento preventivo en el sistema, esto permite tener un mejor control del mismo y evitar paradas en la producción.

- Instalar bajantes tipo cuello de ganso para evitar el arrastre de condensado a los puntos de consumo.

- Hacer revisiones periódicas en la tubería, en especial en las uniones ya que se pueden presentar nuevas fugas, por ende se presentarían pérdidas económicas.

- Se recomienda que el personal asignado al área de compresores sea capacitado adecuadamente para tener un mejor control de funcionamiento de los mismos.