



## Auditoría del Sistema de Aire Comprimido en una Empresa de Textiles

Marcelo David Murillo Montenegro <sup>(1)</sup>, Luis Miguel Toscano Guerrero <sup>(2)</sup>, Ernesto Martínez Lozano <sup>(3)</sup>  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción <sup>(1)(2)(3)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral <sup>(1)(2)(3)</sup>  
Campus Gustavo Galindo km 30 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador <sup>(1)(2)(3)</sup>  
marmuril@espol.edu.ec<sup>(1)</sup>, lumitosc@espol.edu.ec<sup>(2)</sup>, emartine@gu.pro.ec<sup>(3)</sup>

### Resumen

*El presente trabajo pretende proporcionar a una empresa de textiles un mejor uso energético con respecto al aire comprimido, para lograr esto se realizó una auditoría que va a desarrollar un estudio integral al sistema de generación, tratamiento, distribución y demanda instalada de aire comprimido, el mismo que permitirá de manera técnica y cuantitativa, conocer las fortalezas y debilidades del sistema actual, el que presenta inconvenientes como: capacidad de equipos (compresores), fugas, calidad de aire, entre otros; y en base a esto establecer las acciones requeridas para así poder realizar mejoras o cambios que permitan el uso eficiente de los recursos financieros de la planta en base a los consumos y costos reales del aire comprimido. En la primera parte de esta auditoría se realiza la recolección de datos por medio de un colector que permite almacenar datos de presión y amperaje, se mide el flujo en cada punto de demanda y se determinan las pérdidas por fugas en el sistema de distribución. Finalmente se presentan las mejoras propuestas, conclusiones y recomendaciones que permitan un mejor funcionamiento del sistema de aire comprimido en la empresa de textiles.*

**Palabras Claves:** Auditoría, Aire Comprimido, Energía, Tratamiento de Aire.

### Abstract

*This paper aims to provide an improved textile company with respect to energy use compressed air, to accomplish this an audit that will develop a comprehensive study of the system of generation, treatment, distribution and installed compressed air demand, it will allow a technical and quantitative understanding of the strengths and weaknesses of the current system, which has disadvantages such as: capacity of equipment (compressors), leaks, air quality, among others, and on this basis the actions required to establish so we can make improvements or changes that allow the efficient use of financial resources of the plant based on actual consumption and costs of compressed air. In the first part of this audit is the collection of data through a datalogger to store pressure and amperage is measured at each point of demand and losses are determined by leaks in the distribution system. Finally, we present the proposed improvements, conclusions and recommendations that will improve the operation of compressed air system in textile company.*

**Key Words:** Audit. Compressed Air, Energy, Air Treatment.

### 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.

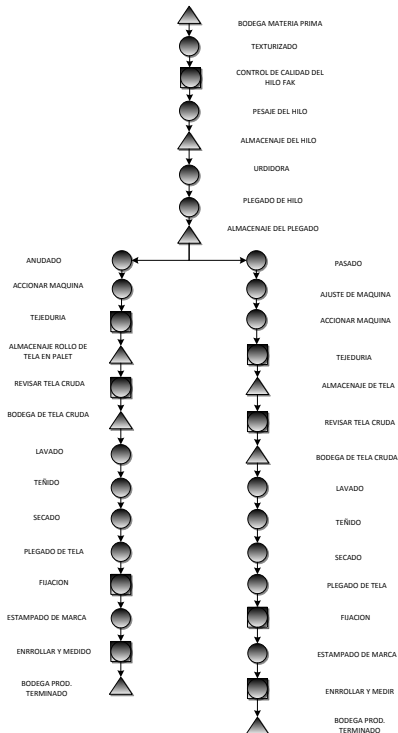
El jefe de texturizado solicita a bodega de materia prima el hilo para procesarlo en el área de texturizado y darle el tratamiento necesario al mismo, luego de esto se realiza una prueba de calidad al hilo en una maquina revisadora de hilo, el hilo que se encuentra en buen estado es almacenado en bodega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

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.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la Empresa Textil

### 2. Sistema de Aire Comprimido

A continuación se describe el sistema de aire comprimido que se encuentra en estado operativo

#### 2.1. Sistema de Aire Comprimido

El sistema de generación de aire comprimido está compuesto por los compresores que se describen en la figura 2. Donde los compresores principales son de tipo tornillo

EQUIPO	MARCA	POTENCIA		ESTADO OPERATIVO	CAPACIDAD m <sup>3</sup> /min (CFM)	PRESIÓN MÁXIMA BAR (PSI)
		Kw	HP			
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)
Compresora pistón	Otto Boge Bielefeld	0.75	1	Bueno	0.18 (6.4)	10 (145)
Compresora pistón	Speedaire	3.73	5	Bueno	0.57 (20)	10 (145)

**Figura 2.** Descripción de equipos de Generación de Aire

#### 2.2. Sistema de Tratamiento de Aire Comprimido

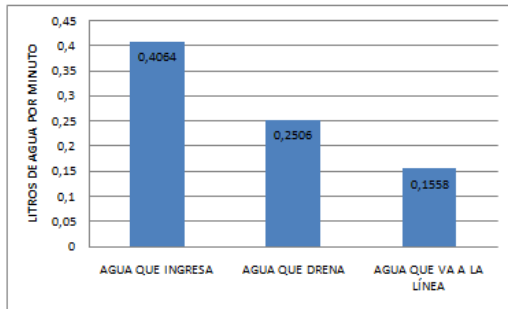
La planta industrial no cuenta con un sistema de tratamiento de Aire Comprimido, esto es un problema ya que el mismo posee exceso de humedad e impurezas.

Debido a esto se describe en la Figura 3 la cantidad de agua que circula en el sistema de Aire Comprimido

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	

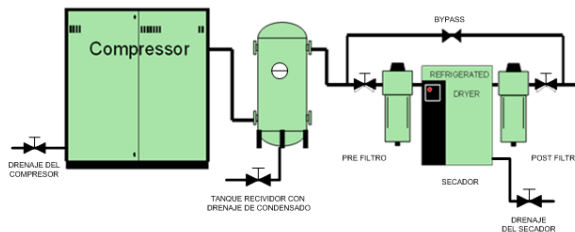
**Figura 3.** Volumen de agua que circula en el sistema en 1 min.

En la figura 4 se observa el volumen total de agua por minuto que ingresa al sistema, que se drena y que ingresa a la línea respectivamente.



**Figura 4.** Cantidad de Agua que circula en el sistema

Un sistema de tratamiento básicamente está compuesto por un secador; filtros de partículas, aceite, aerosoles y humedad. En la figura 5 se ilustra un sistema de tratamiento de aire comprimido.



**Figura 5.** Sistema de Tratamiento de Aire Comprimido

### 2.3. Sistema de Distribución de Aire Comprimido

El 70% de la tubería del sistema de distribución de aire comprimido ha operado por 35 años y es de tipo abierto.

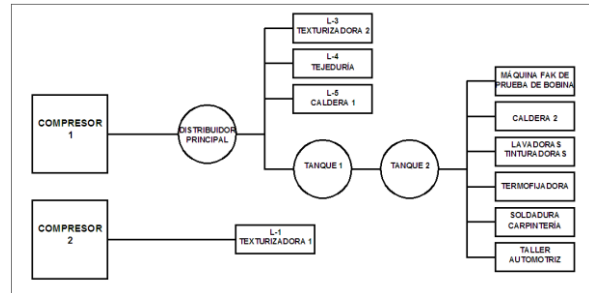
No ha sido cambiada, el 20% ha operado por 12 años y el 10% de la tubería es nuevo. Se ha cambiado la tubería debido a problemas de desgaste como se muestra en la figura 6 que han ocasionado fugas en las líneas de distribución.



**Figura 6.** Tubería de Aire comprimido actual en las áreas de Termofijado y Fak

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 7 se observa un diagrama de bloques del sistema actual de aire comprimido.



**Figura 7.** Diagrama de Bloques del Sistema Actual

### 2.4. Demanda Instalada de Aire

En la figura 8 se describe la demanda instalada de aire comprimido de las máquinas, la cual fue tomada por medio de un flujómetro de tipo rotámetro.

COMPRESOR	SECCIÓN	FLUJO	
		M <sup>3</sup> /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
	<b>Total</b>	<b>5.578</b>	<b>197</b>
Comp 2	Texturizadora 1	11.68	409
	<b>Total</b>	<b>11.68</b>	<b>409</b>

**Figura 8.** Demanda Instalada de Aire Comprimido

## 3. Auditoria de Aire Comprimido

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

### 3.1. Equipos de Auditoria

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.

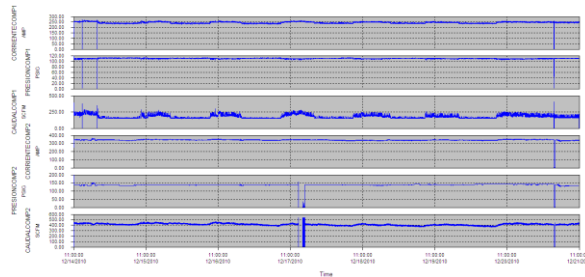
### 3.2. Procedimiento y Recolección de Datos

Por un periodo de 10 días, 24 horas al día, y cada 3 segundos se colectaron datos de presión, amperaje y flujo de los compresores por medio de transmisores de presión y corriente, para luego ser analizados en el programa SystemMate.

#### 3.2.1. Análisis y Evaluación de Resultados

Este análisis nos reflejará la situación del sistema actual de aire comprimido de la empresa de textiles, explicando los sucesos que se revisan en las curvas de presión, amperaje y flujo de los compresores.

Estas curvas se ilustran en la figura 9.



**Figura 9.** Curvas de Presión, amperaje y Flujo de los Compresores

#### 3.2.2. Determinación y Evaluación de Consumos Reales

La evaluación y recolección de datos por medio del datalogger se la realizo bajo las condiciones de sitio mostradas en la figura 10.

<b>Ciudad</b>	Guayaquil
<b>País</b>	Ecuador
<b>Elevación m (ft)</b>	3.96 (13)
<b>Temperatura Ambiente °C (°F)</b>	30.00 (86)
<b>Humedad Relativa %</b>	80%

**Figura 10.** Condiciones de Sitio

Los resultados obtenidos de los compresores se los indica en la figura 11.

NOMBRE DEL COMP.	POTENCIA NOMINAL Kw (HP)	% ENCENDIDO	POTENCIA PROMEDIO Kw (HP)	% CARGA ENERGÍA	% FLUJO CARGA	PRESIÓN PROMEDIO BAR (PSI)	FLUJO PROMEDIO m <sup>3</sup> /min (CFM)	RENDIMIENTO CFM/BHP	COSTO ANUAL \$
COMP1	74.56 (100)	99.9	69.45 (93.1)	83	45	7.68 (111.4)	5.15 (182)	1.95	52680
COMP2	111.85 (150)	98.6	99.89 (133.1)	95	84	9.57 (138.8)	11.69 (412.8)	3.08	73086

**Figura 11.** Rendimiento de los Compresores

De acuerdo a los resultados de la tabla de rendimiento, se puede observar que el compresor 1 no es eficiente ya que por cada BHP entrega 1.95 CFM.

En la figura 12 se describen los costos que ocasiona el compresor 1 debido al mantenimiento, consumo energético y depreciación.

DESCRIPCIÓN	COSTO POR MINUTO \$
Mantenimiento	0.0058
Energía	0.10556
Depreciación	0.0065
<b>Total</b>	<b>0.11786</b>

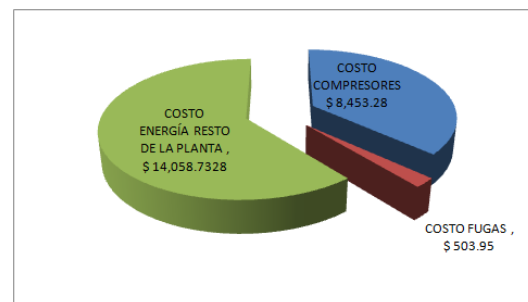
**Figura 11.** Costos del Compresor 1 por minuto

En la figura 13 se describen los costos que ocasiona el compresor 2 debido al mantenimiento, consumo energético y depreciación.

DESCRIPCIÓN	COSTO POR MINUTO \$
Mantenimiento	0.00283
Energía	0.15273
Depreciación	0.00993
<b>Total</b>	<b>0.16549</b>

**Figura 13.** Costos del Compresor 2 por minuto

Los costos energéticos en el mes de diciembre del 2010 tanto de la planta, compresores y de las fugas se ven reflejados en la figura 14.



**Figura 14.** Costos de energía en el mes de diciembre

#### 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.

A continuación en la figura 12 se especifican las fugas encontradas en la empresa de textiles.

LOCALIZACION	PRESION DE LA FUGA BAR (PSI)	LECTURA EN db	COSTO DE FUGAS AL AÑO \$	TAMAÑO DE LA FUGA M3/MIN (CFM)	CONSUMO DE ENERGIA 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 Mto	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

**Figura 12.** Fugas detectadas en la red de Aire Comprimido.

### 3.2.3. Pérdidas de Presión

A continuación en la figura 13 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.

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	3.052
Fak	0.401

**Figura 13.** Pérdidas de presión de las secciones

## 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.

### 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, el cual en la figura 14 se detalla su desempeño.

NOM. COMPR.	POTENCIA Kw (HP) NOMINAL	POTENCIA Kw (HP) PROMEDIO	% CARGA ENERGÍA	% FLUJO CARGA	PRESIÓN PROMEDIO BAR (PSI)	FLUJO PROMEDIO m³/min (CFM)
Sullair 4509	44.74 (60)	39.37 (52.8)	88	68.16	7.68 (111.4)	5.15 (182.0)

**Figura 14.** Desempeño del Compresor Propuesto

El rendimiento al usar el nuevo compresor alcanzara el valor de 3.7 CFM.

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.

### 4.2. Mejoras en el 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, 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.

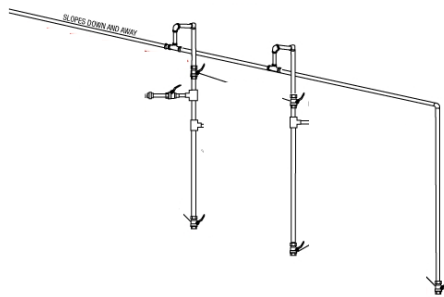
Los secadores y filtros elegidos se los indica en la figura 15.

DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD NOMINAL m <sup>3</sup> /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)

**Figura 15.** Secadores y Filtros elegidos

### 4.3. Mejoras del Sistema de Distribución

Se debe instalar bajantes tipo cuello de ganso como se indica en la figura 16, en cada uno de los puntos de consumo de aire para evitar el arrastre de condensado a los puntos de consumo.



**Figura 16.** Bajante tipo cuello de ganso

### 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 provocara, como se indica en la figura 17.

	DESCRIPCIÓN	CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA KWH	COSTO DE ENERGÍA \$/ AÑO
Existente	Compresor 1	658422.0779	52680
Propuesto	Compresor Sullair 4509	368490.43	29479
	Ahorro	289931.6479	23201

**Figura 17.** Comparación consumo energético anual, Compresor 1 vs Propuesto

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 figura 18 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.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
<b>Equipos</b>			
Compresor Sullair 4509	1	29565	29565
Secador Sullair SRL-250	1	6503	6503
Secador Sullair SRL-700	1	13682	13682
<b>Filtros</b>			
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
<b>Accesorios</b>			
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
Unión 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
Unión Universal 1/2"	2	1,19	2.38
Tubo 1/2"	1	13	13
<b>Mano de obra</b>			
Instalación de los equipos			1700
Improvistos			176.08
Transporte			100
<b>Total</b>			<b>57,839,00</b>

**Figura 18.** Cotización de equipos, accesorios e instalación

## 5. Análisis Económico

A continuación en la figura 19 se detalla 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 \$ 31,713.3. Así mismo se muestra la inversión a realizar la cual alcanza el valor de \$57.839, oo.

Solamente para tener una idea, el ahorro en costos de energía eléctrica y equipos conexos del sistema actual bordea el 54.8% de la inversión.

DESCRIPCIÓN	COSTO \$
<b>Pérdidas</b>	
Costo de fugas	6047,43
Costo de repuestos	2464,87
Costo desperdicio energético	23201
<b>Total</b>	<b>31713.3</b>
<b>Inversión</b>	
Costo de Mejoras	57839

**Figura 19.** Costo de pérdidas e inversión

Por lo tanto la inversión que deberá efectuar la empresa será recuperada en alrededor de 1.8 años.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. 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 1.8 años aproximadamente.
- La humedad en el sistema de aire comprimido tiene un alto porcentaje, lo que no es apropiado para el funcionamiento del sistema.

### 6.2 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.