





DESARROLLAR UN PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA RED DE AIRE  
COMPRIMIDO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN SOFASA – ENVIGADO

FELIPE GUTIÉRREZ MESA  
JAVIER ANDRÉS FACUNDO PAYOME

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ÁREA DE DISEÑO MECÁNICO  
MEDELLÍN  
2008

DESARROLLAR UN PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA RED DE AIRE  
COMPRIMIDO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN SOFASA – ENVIGADO

FELIPE GUTIÉRREZ MESA  
JAVIER ANDRÉS FACUNDO PAYOME

Propuesta de proyecto de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

Asesor:  
Ingeniero Mecánico Juan Carlos Uribe Martínez

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ÁREA DE DISEÑO MECÁNICO  
MEDELLÍN  
2008

## DEDICATORIA:

Felipe:

A mi familia, por su apoyo, confianza, amor y esfuerzos realizados para mi bienestar durante mi vida, asimismo por inculcarme, con su educación, los principios y valores necesarios para ser una persona íntegra.

A mis amigos, mi novia y en general a todas aquellas personas que han estado apoyándome y brindándome su amistad desinteresadamente a lo largo de mi vida.

Javier:

A mi familia, quienes con su amor y apoyo incondicional han logrado impulsarme a lo largo de estos años y me han enseñado, con la práctica, todos los valores necesarios para ser una persona integral.

A mis amigos, quienes me han enseñado el verdadero sentido de lealtad y confianza.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Juan Carlos Uribe, nuestro asesor, quien con su amplio conocimiento del tema, nos orientó y apoyó con total confianza, brindándonos la posibilidad de aprender y realizar este proyecto.

A SOFASA, quien nos abrió sus puertas a través de la División de Mantenimiento, en cabeza de su gerente, el Ingeniero Luis Eduardo Hernández, sin cuyo apoyo, tiempo y atención no hubiese sido posible el desarrollo de este proyecto de grado. A los ingenieros Andrés Gutiérrez, staff de mantenimiento responsable de fluidos, Marytzabel Aguirre, staff TPM y Juan Camilo Gómez, staff de Automatización, quienes nos brindaron todo el apoyo necesario y la información requerida.

A los proveedores consultados, quienes nos brindaron toda la asesoría técnica y metodológica cada vez que fue necesario.

A quienes de manera directa e indirecta aportaron conocimiento, tiempo y dedicación al desarrollo de este proyecto de grado.

## CONTENIDO

	pág
0. PRÓLOGO .....	17
0.1 INTRODUCCIÓN.....	17
0.2 RESEÑA HISTÓRICA SOFASA .....	18
0.3 JUSTIFICACIÓN.....	19
0.4 OBJETIVO GENERAL.....	24
0.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
0.6 ALCANCE.....	26
0.7 METODOLOGÍA EMPLEADA.....	27
1. MARCO REFERENCIAL.....	28
1.1 AIRE COMPRIMIDO.....	28
1.1.1 Propiedades Físicas del Aire.....	28
1.1.2 Aplicaciones del Aire Comprimido.....	29
1.1.3 Ventajas del Aire Comprimido.....	29
1.1.4 Cálculos de Consumo. ....	30

1.1.5	Descripción de una red de aire comprimido.....	32
1.2	DIAGRAMA DE ISHIKAWA .....	35
1.2.1	Construcción del Diagrama de Ishikawa .....	35
2	CARACTERIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO SOFASA.....	38
2.1	COMPRESORES .....	38
2.2	TANQUE PULMÓN.....	42
2.3	SECADORES .....	43
2.4	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES .....	44
3	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	45
3.1	CATEGORÍA MATERIAL Y COMPONENTES .....	47
3.1.1	Materiales de la red de aire comprimido principal.....	48
3.1.2	Accesorios empleados en la red de aire comprimido principal.....	51
3.2	CATEGORÍA MÉTODO .....	53
3.2.1	Puntos de Control .....	54
3.2.2	Simultaneidad en el consumo .....	55
3.3	CATEGORÍA DISEÑO .....	61
3.3.1	Tramo Tubería 6" .....	62
3.3.2	Diseño actual de la red principal en forma transversal.....	63
3.3.3	Válvulas de paso inaccesibles y mal ubicadas.....	72

3.3.4	Distancias entre puntos de consumo y salón de compresores muy extensas.....	79
3.3.5	Tramos Obsoletos (Fuera de Servicio).....	83
3.3.6	Fugas. ....	86
3.4	CATEGORÍA MANO DE OBRA.....	89
3.4.1	Personal no capacitado en montajes y mantenimiento de los accesorios de la red .....	90
3.4.2	Empleo del recurso en forma inadecuada .....	92
4	PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO .....	94
5	CONCLUSIONES.....	97
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	100
6.1	BIBLIOGRAFÍA CLÁSICA.....	100
6.2	INTERNET .....	102

## LISTA DE TABLAS

pág

Tabla 1. Pérdida de producción por fallo en la red de aire comprimido en 2006 y 2007 .....	21
Tabla 2. Afectación económica por paros de línea debido a la red de aire comprimido .....	22
Tabla 3. Características técnicas básicas de los compresores de SOFASA .....	38
Tabla 4 Costo del kWh para el año 2007 SOFASA .....	40
Tabla 5. Costo de Operación Compresores SOFASA .....	41
Tabla 6. Características básicas tanque pulmón principal. ....	42
Tabla 7. Características técnicas principales secador Atlas Copco FD700 .....	43
Tabla 8. Comparativo de costo entre sistemas propuestos. ....	49
Tabla 9. Consumo registrado en taller Soldadura – SOFASA .....	57
Tabla 10. Consumo registrado en taller Pintura – SOFASA .....	57
Tabla 11. Consumo registrado en taller de Ensamble - SOFASA.....	58
Tabla 12. Consumo registrado en taller de Piezas Plásticas - SOFASA .....	58
Tabla 13. Resumen consumos en planta de producción SOFASA.....	59

Tabla 14. Cálculo volumen tubería 6" .....	63
Tabla 15. Listado de accesorios en red neumática a montaje Final Renault. ....	67
Tabla 16. Características de la red propuesta. ....	68
Tabla 17. Variables del cálculo de caída de presión línea de ensamble tramo 4".	70
Tabla 18. Variables del cálculo de caída de presión línea de ensamble tramo 3".	71
Tabla 19. Listado de válvulas principales propuestas en el diseño de la red.....	73
Tabla 20. Listado de válvulas taller de soldadura - SOFASA. ....	73
Tabla 21. Listado de válvulas taller de pintura – SOFASA. ....	74
Tabla 22. Listado de válvulas taller de ensamble – SOFASA.....	74
Tabla 23. Costo de operación compresor ZR110-8,6 .....	82
Tabla 24. Características técnicas básicas secador propuesto. ....	82
Tabla 25. Costo de los equipos requeridos en piezas plásticas. ....	83
Tabla 26. Clasificación de las fugas detectadas en el taller de Soldadura – SOFASA 2007. ....	87
Tabla 27. Caudales para cada clasificación de fuga.....	87
Tabla 28. Consumo eléctrico por fugas en Soldadura 2007. ....	88
Tabla 29. Costo anual fugas en Soldadura.....	88
Tabla 30. Gasto de aire comprimido [cfm] para sopladores de aire.....	93
Tabla 31. Costo de empleo de sopladores (5 minutos).....	93

## LISTA DE FIGURAS

pág

Figura 1. Eje central diagrama Ishikawa .....	35
Figura 2. Ejemplo Categorías de causas principales en diagrama de Ishikawa ....	36
Figura 3. Agrupación de causas secundarias en diagrama de Ishikawa .....	36
Figura 4. Diagrama causa-efecto de indisponibilidad de la red de aire comprimido de SOFASA.....	45
Figura 5. Categoría de causas Material y Componentes.....	47
Figura 6. Primera modificación propuesta al procedimiento SC 53001 .....	52
Figura 7. Categoría de causas Método.....	53
Figura 8. Ubicación presóstato línea de ensamble. ....	54
Figura 9. Tercera entrada de aire al taller de ensamble. ....	55
Figura 10. Categoría de Causas Diseño.....	61
Figura 11. Plano red de aire comprimido taller de ensamble – SOFASA 2006. ....	64
Figura 12. Propuesta de diseño red de aire comprimido principal SOFASA.....	65
Figura 13. Longitudes equivalentes para accesorios de redes neumáticas. ....	66

Figura 14. Índice de resistencia para la cantidad de aire comprimido suministrado.....	69
Figura 15. Distribución de las válvulas en el diagrama propuesto. ....	76
Figura 16. Ficha visual ejemplo válvula principal pintura – SOFASA.....	77
Figura 17. Ficha visual ejemplo bypass secadores – SOFASA. ....	78
Figura 18. Forma propuesta de marcación visual de válvulas. ....	78
Figura 19. Costos del aire comprimido. ....	81
Figura 20. Categoría de causas Mano de Obra.....	89
Figura 21. Propuesta de modificación al procedimiento de recepción de equipos.	91
Figura 22. Instalación típica Pistola HVLP Graco. ....	92
Figura 23. Plan de acción propuesto grupo de causas Material y Componentes. .	94
Figura 24. Plan de acción propuesto grupo de causas Método. ....	95
Figura 25. Plan de acción propuesto grupo de causas Diseño.....	95
Figura 26. Plan de acción propuesto grupo de causas Mano de Obra. ....	96

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

pág

Fotografía 1. Compresor Atlas Copco GA75 - SOFASA.....	39
Fotografía 2. Compresor Atlas Copco ZR5 - SOFASA .....	39
Fotografía 3. Compresor Atlas Copco ZR400 - SOFASA .....	40
Fotografía 4. Tanque Pulmón Principal red de aire comprimido SOFASA.....	42
Fotografía 5. Cambio de diámetro de tubería principal de 4" a 6".....	62
Fotografía 6. Válvula de paso inaccesible. ....	72
Fotografía 7. Comienzo del tramo enterrado, red de aire comprimido piezas plásticas.....	80
Fotografía 8. Tramo enterrado sin posibilidad de mantenimiento. ....	80
Fotografía 9. Tramo obsoleto sobre cabina de aplicación de esmaltes. ....	84
Fotografía 10. Complejidad para la identificación de tramos obsoletos. ....	84
Fotografía 11. Unidades de mantenimiento fuera de servicio.....	85

## LISTA DE ANEXOS

pág

ANEXO A. Procedimiento para la aceptación de equipos e instalaciones – SOFASA – Versión Actual. ....	104
ANEXO B. Carta Contrato SOFASA – Ingeneumática para el estudio de consumos en Piezas Plásticas.....	105
ANEXO C. Cotización Compresor marca Atlas Copco referencia ZR110-8,6.....	106
ANEXO D. Cotización torre de enfriamiento para compresor ZR110 .....	113
ANEXO E. Cotización Secador marca Atlas Copco referencia FD380. ....	119
ANEXO F. Plan de acción propuesto.....	124

## GLOSARIO

**CONFIABILIDAD:** capacidad de un equipo de realizar su función de manera prevista. Probabilidad que un equipo realice su función prevista sin incidentes por un periodo de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas. (SOLOMTTO@2008)

**DISPONIBILIDAD:** porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. La disponibilidad de un ítem no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar. (SOLOMTTO@2008)

**MANTENIBILIDAD:** Probabilidad y/o facilidad de devolver a un equipo a condiciones operativas, en un cierto tiempo y utilizando los procedimientos prescritos. (SOLOMTTO@2008)

**HVLP:** High Volume, Low Pressure (alto volumen, baja presión).

**SOFASA:** Sociedad de Fabricación de Automotores S. A.

**SPR:** Sistema de Producción Renault.

## 0. PRÓLOGO

### 0.1 INTRODUCCIÓN

La compañía SOFASA ensambla y comercializa vehículos de las marcas Renault y Toyota, siendo una empresa reconocida en el medio automovilístico de la región andina por la calidad de sus productos. Para este fin, esta empresa se basa en procesos productivos mayormente manuales, los cuales son soportados por instalaciones y equipos que proveen a los trabajadores los recursos necesarios para el apropiado desarrollo de sus actividades.

La Red de Aire Comprimido es uno de los sistemas centrales de los cuales depende el proceso productivo de SOFASA para el desarrollo de su actividad económica, pues de ella se derivan equipos y subsistemas en todos los talleres que conforman la línea de producción de la compañía.

El presente proyecto de grado tomará como objeto de estudio la red de aire comprimido de la empresa SOFASA, realizando un análisis de las condiciones actuales de operación, las causas de la indisponibilidad de la instalación en los últimos dos años y basado en los resultados este análisis, propondrá un plan de mejoramiento que incluya las consideraciones de la casa matriz Renault.

## 0.2 RESEÑA HISTÓRICA SOFASA

La Sociedad de Fabricación de Automotores S.A. (SOFASA) es fundada en el año 1970 en el municipio de Envigado, luego de un proceso de selección de marcas para el ensamblaje de vehículos en Colombia por parte del Gobierno Nacional, siendo elegida la Regie National des Usines Renault, de Francia, la cual ensamblaría vehículos de esta marca (SOFASA@2007).

La década de 1980 marcaría un cambio importante en la historia de esta empresa, al ser adquirida la totalidad del paquete accionario al gobierno colombiano por parte de Renault de Francia, a comienzos de 1989. Simultáneamente, Renault ofrece a Toyota Motor Corporation un 24% de las acciones de SOFASA quien ingresa como socio de la compañía, con el fin de ensamblar automóviles tipo campero y pick ups, los cuales saldrían a la venta en 1992. Los accionistas actuales de SOFASA son en un 60% por Renault, 28% Toyota y 12% por Mitsui (SOFASA@2007).

Los principales logros alcanzados por la compañía en materia de reconocimiento de la calidad de sus productos y procesos lo constituye la consecución de la certificación de sus procesos en gestión de la calidad (ISO 9001-2000), gestión ambiental y manejo de residuos (ISO 14001) y protección del trabajador (NTC OSHAS 18001). Actualmente, SOFASA es reconocida a nivel nacional como la mejor empresa para trabajar en Colombia, galardón ganado en los años 2005 y 2006, y como la segunda mejor empresa para trabajar en Latinoamérica en 2007. (SOFASA@2007)

### 0.3 JUSTIFICACIÓN

El proceso productivo de SOFASA comprende tres talleres principales: Soldadura, donde las piezas de la carrocería son ensambladas; Pintura, donde se acondiciona la cabina ya ensamblada y se le da la protección, el color y el acabado exterior y Ensamble, en donde la motorización y todos los componentes del vehículo son integrados a la cabina.

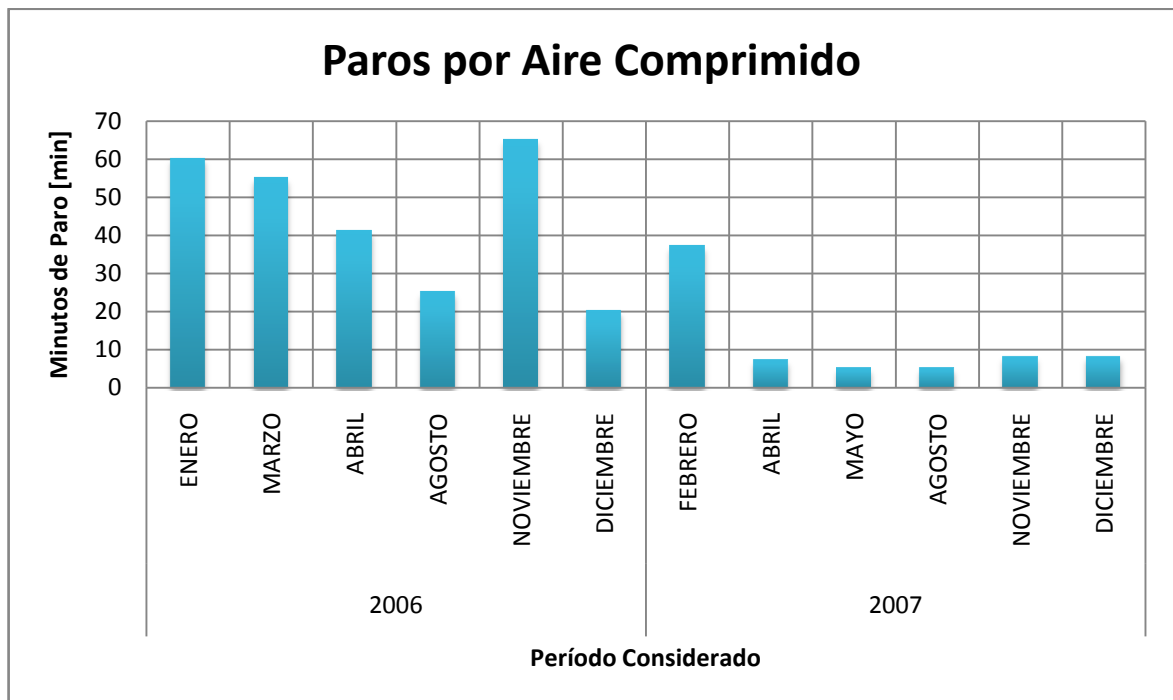
La red de aire comprimido de la ensambladora SOFASA Envigado representa en cada uno de estos talleres por igual, una relevancia vital para los subsistemas que permiten que las actividades llevadas a cabo en cada uno de ellos se desempeñen con normalidad y de conformidad con los estándares de calidad de la empresa.

Los últimos 5 años han representado para la compañía un crecimiento acelerado, cercano al 230% en el volumen total de vehículos comercializados (SOFASA1, 2007), el cual es reflejo de la creciente demanda global por vehículos automotores (MINTRANS@2007). Esta tendencia ha obligado a las empresas ensambladoras del sector a aumentar la producción al interior de sus plantas significativamente. Consecuencia de este crecimiento, SOFASA comienza a trabajar tres turnos productivos desde Julio de 2006, y la tendencia actual del mercado permitiría suponer un crecimiento constante por los próximos 3 años.

La participación en el mercado automotor en la región andina estará dada por la oferta presentada por los comercializadores de vehículos, y los costos de los productos que se presentan a dicho mercado. Bajo estas consideraciones, un vehículo ofrecido a tiempo y a bajo costo permitirá asegurar una participación importante en el medio, logrando de esta manera brindar beneficios económicos a las empresas, lo que directamente repercute en estabilidad laboral y social del entorno.

La comprensión de la situación actual de la red de aire comprimido de SOFASA es el punto de partida del desarrollo del presente trabajo de grado. Con este fin, se presenta un consolidado de los paros de línea de los últimos 2 años originados por problemas con la red de aire comprimido, con el fin de dimensionar el impacto sobre la producción. La gráfica 1 que se muestra a continuación refleja el impacto en minutos sobre la línea de producción por fallas en la red de aire comprimido para los años 2006 y 2007.

Gráfica 1. Paros por fallas en la red de aire comprimido 2006 – 2007



Sociedad de Fabricación de Automotores – SOFASA.

La interpretación que se hace de la gráfica anterior, se hará considerando que lo arriba tabulado como paro de línea debido a problemas con la red de aire comprimido, será toda carencia de aire debido a fallas en los equipos compresores (no incluye oscilaciones por descargas atmosféricas o falta de fluido eléctrico),

baja presión en alguno de los talleres de producción y daños en accesorios de la red principal de aire comprimido. También se excluyen en esta tabulación, paros por falla en los equipos y herramientas que emplean aire comprimido en el puesto de trabajo.

Las condiciones de producción de cada mes señalado en los meses de incidencia de los paros son determinadas por la dirección de producción de SOFASA para cumplir las expectativas de ventas, ayudan a dimensionar el impacto de cada minuto de paro de línea sobre los objetivos de producción. Así pues, estos paros pueden representarse en vehículos dejados de producir por la compañía. Para tal efecto, en la tabla 1 se presenta el consolidado de pérdida de producción para los años 2006 y 2007 por causa de fallos en la red de aire comprimido.

Tabla 1. Pérdida de producción por fallo en la red de aire comprimido en 2006 y 2007

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Cadencia [Veh/h]</b>	<b>Paros por Aire Comprimido [min]</b>	<b>Pérdida Producción [Veh]</b>
2006	ENERO	10,65	60	11
	MARZO	10,28	55	9
	ABRIL	10,65	41	7
	AGOSTO	8,13	25	3
	NOVIEMBRE	9,01	65	10
	DICIEMBRE	9,14	20	3
2007	FEBRERO	9,39	37	6
	ABRIL	10,85	7	1
	MAYO	10,84	5	1
	AGOSTO	11,70	5	1
	NOVIEMBRE	11,98	8	2
	DICIEMBRE	12,47	8	2
<b>SUMA</b>			<b>336</b>	<b>56</b>

Sociedad de Fabricación de Automotores SOFASA

El costo asumido por SOFASA debido a los paros de producción, también es cuantificable, bajo la consideración que cada minuto de paro le cuesta a la compañía aproximadamente \$150.000. Este valor se maneja en la División de Mantenimiento de SOFASA para el cálculo de la afectación en el valor de transformación (VT) de la planta, causado por paros debidos a las instalaciones. Esta afectación se puede ver en la tabla 2.

Tabla 2. Afectación económica por paros de línea debido a la red de aire comprimido

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Costo Minuto Paro [\$/min]</b>	<b>Paros por Aire Comprimido [min]</b>	<b>Costo Paro [\$]</b>
2006	ENERO	\$ 150.000	60	\$ 9.000.000
	MARZO	\$ 150.000	55	\$ 8.250.000
	ABRIL	\$ 150.000	41	\$ 6.150.000
	AGOSTO	\$ 150.000	25	\$ 3.750.000
	NOVIEMBRE	\$ 150.000	65	\$ 9.750.000
	DICIEMBRE	\$ 150.000	20	\$ 3.000.000
2007	FEBRERO	\$ 150.000	37	\$ 5.550.000
	ABRIL	\$ 150.000	7	\$ 1.050.000
	MAYO	\$ 150.000	5	\$ 750.000
	AGOSTO	\$ 150.000	5	\$ 750.000
	NOVIEMBRE	\$ 150.000	8	\$ 1.200.000
	DICIEMBRE	\$ 150.000	8	\$ 1.200.000
<b>SUMA</b>			<b>336</b>	<b>\$ 50.400.000</b>

Sociedad de Fabricación de Automotores SOFASA

El aumento de los volúmenes de producción de vehículos, como se ha señalado anteriormente, necesita entonces de sistemas modulares, confiables y capaces para asegurar el cumplimiento de las expectativas de oferta planteadas por el mercado. La red de aire comprimido es una de las instalaciones en las cuales se debe pensar en el momento de considerar el crecimiento de la planta de

producción. Actualmente, este sistema se encuentra en el límite operativo, como se puede deducir de las tablas arriba señaladas.

Los altos costos indirectos asociados a la producción de aire comprimido, determinados por el consumo de potencia eléctrica, mano de obra de mantenimiento, repuestos y operación de los equipos de producción de aire comprimido, son también parámetros importantes a considerar en los estudios de la red actual y los estudios de costo-efectividad de las propuestas de rediseño que resultarán de este proyecto de grado.

#### 0.4 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un plan de mejoramiento para la red de aire comprimido de la planta de producción SOFASA – Envigado, mediante un análisis enfocado al estudio de consumo teórico de los equipos asociados a la red principal de aire comprimido y el aprovechamiento de las instalaciones existentes, con el fin aumentar la capacidad de la instalación.

#### 0.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las necesidades y requerimientos técnicos de los puestos de trabajo en los cuales se precisa aire comprimido, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de estos.

Nivel 1 – Conocer.

Identificar los principales problemas de la red de aire comprimido actual de SOFASA, considerando tramos subutilizados, saturados y obsoletos.

Nivel 1 – Conocer.

Reconocer las causas de las fugas, pérdidas y caídas de presión en la red de aire comprimido de SOFASA y el estado de carga actual de los compresores.

Nivel 2 – Comprender.

Esbozar un diagrama preliminar de la red principal de aire comprimido, y las derivaciones principales para cada taller de producción que contemple las correcciones a las desviaciones encontradas en el análisis de la red de aire comprimido actual, y requiera la menor inversión económica necesaria.

Nivel 3 – Aplicar.

Calcular la factibilidad técnica, económica y el impacto sobre los niveles de carga de la red de aire comprimido que generaría la independencia de las redes del área de pintura de las de ensamble y soldadura.

Nivel 4 – Analizar.

Proponer un plan para el mejoramiento de la red de aire comprimido a corto plazo con miras a garantizar la disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y seguridad de la instalación, siguiendo los lineamientos de la casa matriz Renault.

Nivel 5 – Sintetizar.

Concluir los principales resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto.

Nivel 6 – Juzgar.

## 0.6 ALCANCE

Realizar un análisis de la red de aire comprimido de SOFASA Envigado, el cual consiste en un diagnóstico del estado actual de la instalación, basado en la identificación de tramos subutilizados, modificaciones obsoletas y tramos saturados, capacidad de compresores y condiciones de trabajo en todo el perímetro del salón de producción.

Este proyecto entregará:

- Estudio de consumos teóricos de los equipos asociados a la red principal de los talleres de Soldadura, Pintura y Ensamble.
- Estudio de consumo actual para el taller de Piezas Plásticas.
- Identificación y corrección de fugas en las redes de aire comprimido principal (valoración).
- Estudio de factibilidad técnica y económica del diseño propuesto para la red principal de aire comprimido de SOFASA.
- Análisis de Causas de Indisponibilidad de la Instalación en estudio y propuesta de contramedidas.
- Documentación técnica, hoja de selección de compresores que comprende la valoración técnica y económica de las diferentes alternativas propuestas.

Este proyecto no entregará el plano de la red de aire comprimido de SOFASA.

## 0.7 METODOLOGÍA EMPLEADA

El proyecto será soportado directamente por los objetivos planteados y la identificación de estos como niveles con el fin de facilitar su seguimiento y cumplimiento, en los cuales tenemos:

Nivel 1: Conocer.

Nivel 2: Comprender.

Nivel 3: Aplicar.

Nivel 4: Analizar.

Nivel 5: Juzgar.

El análisis de la red de Aire Comprimido se realizará empleando las herramientas brindadas por el TPM (Administración Productiva Total), y se realizará en la planta SOFASA de Envigado, con el apoyo de personal de mantenimiento de SOFASA y personal experto en redes neumáticas que puedan brindar la asesoría necesaria. Para este fin, se empleará una de las herramientas de análisis de causas más efectivas, conocido como diagrama de Ishikawa

La propuesta del plan de acción se hará mediante el sistema LUP (Listado Único de Problemas) donde serán registradas las acciones, responsables y fechas de compromiso, siendo posible evaluar el cumplimiento y la eficiencia de los involucrados en la ejecución del plan, además de facilitar el seguimiento y desarrollo de los objetivos específicos y del cronograma de trabajo.

## 1. MARCO REFERENCIAL

El siguiente capítulo mostrará la sustentación teórica del desarrollo que se empleará en el siguiente proyecto de grado

### 1.1 AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido es usado ampliamente en todo tipo de empresas manufactureras y productivas debido a su gran versatilidad, y cada vez más amplia su gama de aplicaciones. El uso de este recurso como fuente de energía se remonta desde varios siglos antes de Cristo (ARISTIZABAL, 1988, p1). Este fluido cuenta con algunas propiedades físicas que vale la pena resaltar brevemente.

#### 1.1.1 Propiedades Físicas del Aire.

Aunque es incoloro, insípido e inodoro, el aire tiene masa, y de esta característica se desprenden las propiedades que se describen a continuación:

- Compresibilidad

Propiedad física que permite que, mediante la aplicación de una fuerza externa, se reduzca el volumen que ocupa el aire en un recipiente.

- Elasticidad

Propiedad física que permite al aire retomar el volumen inicial que ocupaba en un recipiente al retirarse la fuerza exterior que determinaba su reducción de volumen.

- Difusibilidad

Propiedad física que permite al aire mezclarse homogéneamente con cualquier medio gaseoso que no esté saturado (ARISTIZABAL, 1988, p1)

### 1.1.2 Aplicaciones del Aire Comprimido.

Dentro de las aplicaciones que se le suelen dar al aire comprimido se encuentran:

- El empleo directo como elemento de trabajo.
- Como fuente de energía para motores, embragues, cilindros y herramientas.
- Mediante regulación de válvulas y accesorios, se emplea para impulsar gran variedad de movimientos mecánicos, como dispositivos de sujeción, dispositivos de localización, sistemas de transporte de material, maquinado, prensado, estampado entre otros.

En conjunto con sistemas oleo-hidráulicos, se puede obtener costos reducidos en los ciclos de trabajo precisos y a base de grandes presiones mediante elementos electrónicos, para accionamientos a larga distancia (CHADID, 1983, p.2-3).

### 1.1.3 Ventajas del Aire Comprimido.

El empleo de este fluido como fuente de energía en las industrias presenta algunas ventajas claras:

- Se puede centralizar la alimentación de todas las aplicaciones neumáticas (compresor central), lo cual no es posible con aplicaciones oleo-hidráulicas.
- Mediante el uso de acumuladores (tanque pulmón) se puede almacenar el fluido, logrando así que la capacidad del compresor no tenga que ser necesariamente igual o superior al máximo del consumo de aire en un momento determinado, sino que puede ser igual al promedio de consumo.
- En comparación con los sistemas hidráulicos, las redes de transporte son más simples.
- El transporte del aire comprimido es seguro, lo que lo hace ideal para aplicaciones en ambientes con riesgo de explosión o incendio, aunque se

debe tener precaución, pues una falla abrupta en estas redes pueden ocasionar fugas de alta presión.

- Aunque los gastos por fugas son importantes en las redes neumáticas, estas no evitan que los equipos continúen trabajando, a diferencia de los sistemas hidráulicos (VAN DIJON, 1982, p22-23).

#### 1.1.4 Cálculos de Consumo.

Una vez se conocen las generalidades del aire comprimido, a continuación se presentan los procedimientos de cálculo de consumo, los cuales serán parte fundamental del proyecto que se desarrolla. Para esto se deberán considerar tres familias de aplicaciones principales que se le puede dar al aire comprimido: como soplador, como actuador y como fuente de energía en máquinas herramienta.

- Cálculo de consumo en orificios.

Este flujo puede considerarse como un flujo isentrópico, despreciando los efectos de fricción y de transferencia de calor, se puede demostrar que (CHADID, 1983, p.20):

$$Q = Q_1 \left( \frac{F * I}{t * 60} \right)$$

Donde:

Q: Consumo corregido.

Q1: Caudal del Aire Libre.

F: Frecuencia de uso (Número de veces por Jornada).

I: Intensidad de uso (minutos por vez de uso).

J: Tiempo de una jornada de trabajo.

- Cálculo de consumo en actuadores.

Para el cálculo de Consumo de Aire Comprimido en actuadores, se debe considerar el tipo de actuador que se está considerando. Para este caso particular, se mostrará la forma genérica de la cual se deriva la simplificación para cada tipo de actuador que se considere (CHADID, 1983, p.27):

$$Q = [(V_M + V_T) * P + (A_1 + A_2) * C * (P + 1)]^n$$

Donde:

Q: Consumo Aire Comprimido Actuador.

VM: Volumen del Espacio Muerto del Actuador.

VT: Volumen de la tubería.

A1: Área Sección transversal del Émbolo.

A2: Área Sección transversal del Vástago.

C: Carrera del actuador.

n: Número de Ciclos por minuto.

P: Presión de Servicio.

- Cálculo en máquinas herramientas.

El cálculo del consumo en máquinas herramientas es comparable con el cálculo de consumo de aire comprimido por orificios. Así se tiene (CHADID, 1983, p.30):

$$C = Q_1 \left( \frac{F * I}{t * 60} \right)$$

Donde:

C: Consumo de aire libre

Q1: Caudal de la Máquina Herramienta

F: Frecuencia de utilización (Número de veces por Jornada)

I: Intensidad de uso (minutos por vez de uso)

J: Tiempo de una jornada de trabajo.

#### 1.1.5 Descripción de una red de aire comprimido.

Las redes de aire comprimido están compuestas por varios elementos que permite acondicionar el aire que se encuentra libre en la atmósfera y acondicionarlo para ser empleado como fuente de potencia de máquinas herramientas y procesos productivos. Los siguientes son los elementos principales:

- Compresor: Es el encargado de convertir la energía mecánica, en energía neumática comprimiendo el aire. Antes de la entrada al compresor, el aire pasa por un filtro para separar la mayor cantidad de impurezas.
- Secadores: Se utilizan para aplicaciones que requieren un aire supremamente seco.
- Tanque de almacenamiento: Almacena energía neumática y permite el asentamiento de partículas y humedad.
- Redes de Transporte de Aire Comprimido.
- Aplicaciones con sus purgas, unidades de mantenimiento (Filtro, reguladores de presión y lubricador) y secadores adicionales (MONOG@2007).

- Compresores.

La división principal de las familias de compresores se da por la forma como se logra la compresión del aire dentro del compresor. Existen dos grandes familias: los compresores de desplazamiento y los compresores dinámicos.

Compresores de desplazamiento:

Estos compresores comprenden aquellos que consiguen el incremento de la presión del aire confinando capturando el aire libre en la atmósfera en un espacio cerrado, donde posteriormente por acción mecánica se reduce el volumen. Estos a su vez se dividen en alternativos y rotativos:

- Compresores de desplazamiento alternativos: Compresor de pistón, de pistón tipo laberinto y de diafragma.

- Compresores de desplazamiento rotativos: Compresor de tornillo, de aletas, de anillo líquido y soplantes de dos impulsores (rotativas).

#### Compresores Dinámicos

En estos compresores, el aumento de la presión del aire se logra comunicando energía cinética al flujo constante de gas y convirtiendo esta energía en presión por medio de un difusor. Hacen parte de esta clasificación:

- Compresores Radiales (Centrífugos).
- Compresores Axiales.

(ARISTIZABAL, 1988, p.9-14).

- Secadores.

Estos equipos permiten eliminar el condensado del aire que no se logre obtener con los post-enfriadores, y para aplicaciones industriales que requieran este tipo de aire (como es el caso de la sección de pintura en SOFASA). Estos a su vez se dividen en: secadores de refrigeración, secadores por absorción y secadores por adsorción.

- Secadores de refrigeración: Estos emplean una fuente de energía externa adicional para alimentar un circuito de refrigeración, logrando así temperaturas bajas para el aire comprimido.
- Secadores por Absorción: Existe una reacción química en la que el agua contenida en el aire reacciona con un material contenido en el secador.
- Secadores por Adsorción: Trabajan empleando el fenómeno físico de la tensión superficial para lograr la separación.

(ARISTIZABAL, 1988, p.24)

- Tanques.

Los tanques de almacenamiento cumplen con las siguientes funciones:

Absorbe las pulsaciones por la compresión en la línea de descarga del compresor.

- Estabiliza los flujos de aire comprimido en las líneas de distribución.

- Almacena la energía neumática.
- Atiende demandas instantáneas.
- Ayuda a la precipitación de la humedad en el aire.
- Refrigerera el aire comprimido.

(CHADID, 1983, P. 59-60).

- Redes de distribución y transporte.

Dentro de los accesorios con los que debe contar una red de aire comprimido, se deben considerar:

- Tubería Principal: Es aquella que sale del tanque de almacenamiento de aire comprimido y transporta la totalidad del caudal.
- Tuberías Secundarias: Son las que toman el aire comprimido de la tubería principal y distribuye el aire comprimido por las áreas de trabajo.
- Tuberías de Servicio: Son aquellas que alimentan los equipos neumáticos.

(CARNICER ROYO, 1977, p. 227 – 228).

- Accesorios

Comprenden los elementos que permiten regular, controlar y acondicionar el aire comprimido a través de las redes de distribución hasta el puesto de trabajo. Entre otros:

- Válvulas de paso.
- Caudalímetros
- Presóstatos.
- Unidades FRL (Filtro, Regulador, Lubricador).

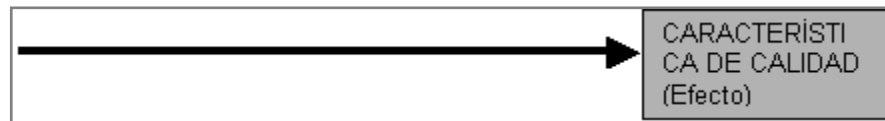
## 1.2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El diagrama de Causa y Efecto fue desarrollado por el japonés Kaouru Ishikawa a mediados de los años 50, como una herramienta para identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad. Nos permite, en una fase de análisis, resumir gráficamente todas las relaciones entre las causas y efectos de un proceso.

### 1.2.1 Construcción del Diagrama de Ishikawa

Definir el problema o la característica de calidad que se va a analizar y escribirla en el lado derecho de una flecha gruesa que representa el proceso en consideración, como se ilustra en la figura 1.

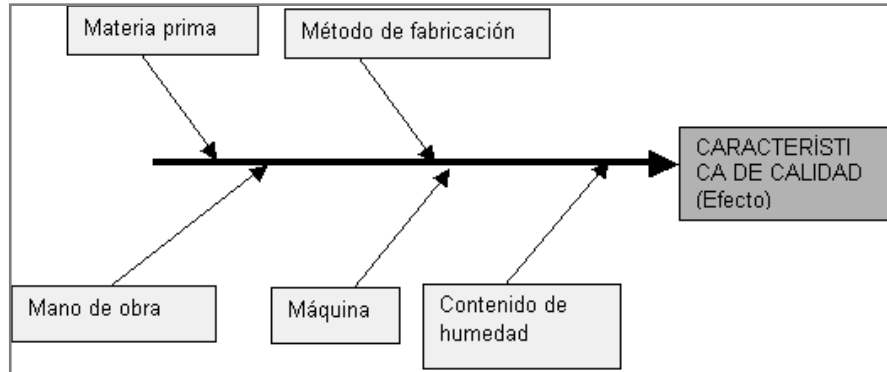
Figura 1. Eje central diagrama Ishikawa



: Memorias seminario SPR – SOFASA 2007

Elegir categorías generales para agrupar las causas principales. Dependiendo del tipo de problema que se analice se definirán las categorías más convenientes. Escribir las categorías seleccionadas en el extremo de flechas inclinadas que se unen a la del proceso principal. Puede seguirse el orden en que avanza el proceso de derecha a izquierda. Un ejemplo de esta estructura se puede ver en la figura 2

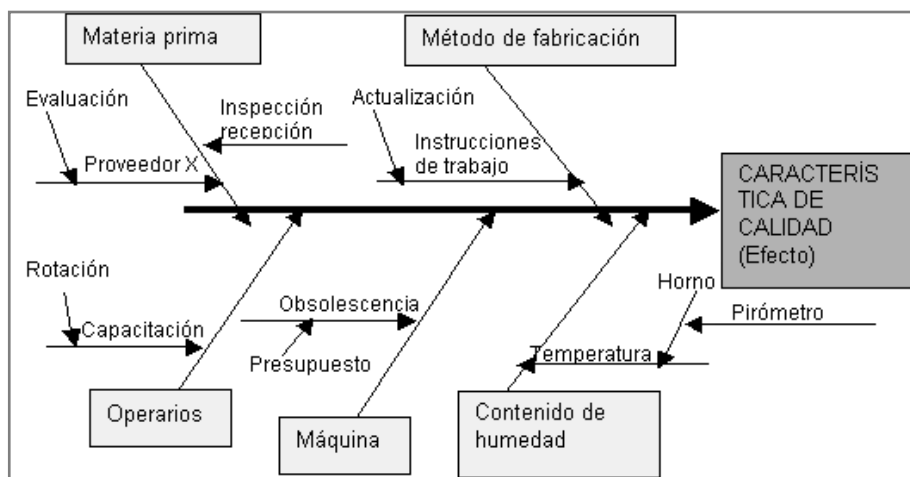
Figura 2. Ejemplo Categorías de causas principales en diagrama de Ishikawa



: Memorias seminario SPR – SOFASA 2007.

Comenzar a desglosar las causas principales en secundarias, terciarias, etc. y anotarlas en flechas de acuerdo a la categoría a la que pertenecen. Este paso es el punto central de la construcción del diagrama. A fin de realizar la expansión recurrente de las causas utilizamos repetidamente la pregunta ¿Por qué? y su respuesta. Estas se van agrupando en el diagrama, como se ilustra en la figura 3.

Figura 3. Agrupación de causas secundarias en diagrama de Ishikawa



Memorias seminario SPR – SOFASA 2007.

Se continúa este proceso hasta que eventualmente se encuentra una causa sobre la que se puede actuar. Asimismo para desplegar las ramas encontrando las causas se puede utilizar la técnica de “Tormenta de Ideas” (Brainstorming), permitiendo la participación de la mayor cantidad de personas posibles, todos deberán poder expresar sus ideas con libertad a medida que se construye el diagrama.

Posteriormente se debe analizar el diagrama y sacar conclusiones: se debe tener siempre presente que esta herramienta tiene en cuenta causas potenciales o teóricas las cuales deberán ser comprobadas en la práctica mediante la medición y toma de datos, las que permitirán llegar a conclusiones sólidas sobre las causas que realmente influyen sobre el problema. Para esta fase es de gran utilidad complementar el uso del Diagrama de Causa y Efecto con el Diagrama de Pareto, el cual ayudará a decidir sobre qué causas se tomarán acciones. (SEMINARIO\_SPR, 2007, Memorias)

## 2 CARACTERIZACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO SOFASA

El presente capítulo pretende establecer las características básicas de la red de aire comprimido principal de SOFASA, considerando los equipos de generación de aire comprimido, los acondicionadores de calidad de aire y los accesorios y características de la red principal.

### 2.1 COMPRESORES

Los equipos de producción de aire comprimido empleados por SOFASA actualmente son tres compresores marca Atlas Copco referencias GA-75, ZR-5 y ZR-400. Según sus respectivas fichas técnicas, las condiciones de operación se muestran en la tabla 3 a continuación:

Tabla 3. Características técnicas básicas de los compresores de SOFASA

<b>Compresor</b>	<b>Caudal Nominal [cfm]</b>	<b>Potencia [kW]</b>	<b>Relación Potencia - Caudal [cfm/kW]</b>
Atlas Copco - GA75-100	464	75,00	6,2
Atlas Copco - ZR5	1.700	250,00	6,8
Atlas Copco - ZR400	2.210	372,85	5,9
<b>TOTAL</b>	<b>4.374,00</b>	<b>697,85</b>	<b>6,3</b>

Catálogos Técnicos Atlas COPCO

El tipo de compresor empleado en SOFASA es de tornillo, siendo las tres referencias señaladas de esta clase. Los compresores ZR5 y ZR400 son refrigerados por agua, generando aire libre de aceite. El compresor GA75 es un

compresor de tornillo refrigerado por aceite. Los compresores señalados se pueden ver en las fotografías 1, 2 y 3 a continuación.

Fotografía 1. Compresor Atlas Copco GA75 - SOFASA



Fotografía 2. Compresor Atlas Copco ZR5 - SOFASA



Fotografía 3. Compresor Atlas Copco ZR400 - SOFASA



El costo de producción de un pie cúbico de aire comprimido se puede calcular para cada compresor, conociendo el costo de la energía. Para efectos prácticos, se tomará el valor promedio de cada kWh de energía cobrado a SOFASA en el año 2007. En la tabla 4, se puede ver el costo de cada kWh cobrado a SOFASA en 2007.

Tabla 4 Costo del kWh para el año 2007 SOFASA

<b>Mes - Año</b>	<b>Valor [\$/kWh]</b>
enero-07	\$ 169,44
febrero-07	\$ 171,88
marzo-07	\$ 171,80
abril-07	\$ 171,70
mayo-07	\$ 168,40
junio-07	\$ 166,96
julio-07	\$ 165,93
agosto-07	\$ 188,07
septiembre-07	\$ 188,65
octubre-07	\$ 188,94
noviembre-07	\$ 197,63
diciembre-07	\$ 200,31

División de Mantenimiento SOFASA

Así pues, podemos calcular el costo de cada metro cúbico de aire para cada compresor, como se muestra en la tabla 5, sabiendo que:

$$\left[ \frac{\$}{ft^3} \right] = \frac{Potencia [kW]}{Caudal \left[ \frac{ft^3}{min} \right]} \times Costo \left[ \frac{\$}{kWmin} \right]$$

Donde:

ft<sup>3</sup>: pie cúbico de aire comprimido.

kWmin: costo de energía consumido por 1 kW durante 1 minuto

Tabla 5. Costo de Operación Compresores SOFASA

<b>Valor Promedio 2007 [\$/kWh]</b>	\$ 179,14
-------------------------------------	-----------

<b>Compresor</b>	<b>Caudal Nominal [ft<sup>3</sup>/min]</b>	<b>Potencia [kW]</b>	<b>Costo Producción [\$/ft<sup>3</sup>]</b>
Atlas Copco - GA75-100	464	75,00	\$ 223,93
Atlas Copco - ZR5	1.700	250,00	\$ 746,43
Atlas Copco - ZR400	2.210	372,85	\$ 1.113,22

División de Mantenimiento SOFASA

## 2.2 TANQUE PULMÓN

El aire comprimido generado pasa a un tanque pulmón principal, el cual ayuda a condensar parte de la humedad. Este tanque a su vez, sirve como soporte para la red principal, conservando la presión adecuada en los puestos de trabajo. Las características de este tanque se muestran a continuación en la tabla 6, e ilustrado en la fotografía 4.

Tabla 6. Características básicas tanque pulmón principal.

<b>Accesorio</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
Tanque Pulmón Principal	6,5	1,70	14,8

Fotografía 4. Tanque Pulmón Principal red de aire comprimido SOFASA



## 2.3 SECADORES

El proceso de generación y acondicionamiento de aire comprimido finaliza cuando este pasa por dos secadores que alimentan dos redes independientes: Pintura es una de ellas, y Soldadura y Ensamble son los talleres alimentados por la segunda red. Las características técnicas principales de estos secadores se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Características técnicas principales secador Atlas Copco FD700

	<b>Capacidad [scfm]</b>	<b>Tipo Refrigerante</b>	<b>Presión Máxima Efectiva [psig]</b>
Atlas Copco FD700	1.494,00	R404A	210

Catálogo Técnico Atlas Copco

Los secadores son de vital importancia debido al diseño actual de la red principal de aire comprimido, el cual no cuenta con las pendientes adecuadas para la evacuación de la humedad del aire.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

Las condiciones de trabajo de SOFASA requieren dos características específicas en cuanto a calidad de aire: la ausencia absoluta de aceite en el sistema, por efectos de calidad en los procesos de pintura de cabina y piezas plásticas, y el empleo que se hace en las cabinas de aplicación de pintura de escafandras con aire para evitar la inhalación de vapores nocivos. Este aire debe ser tratado para su empleo, y se requiere que no esté contaminado previamente con aceite.

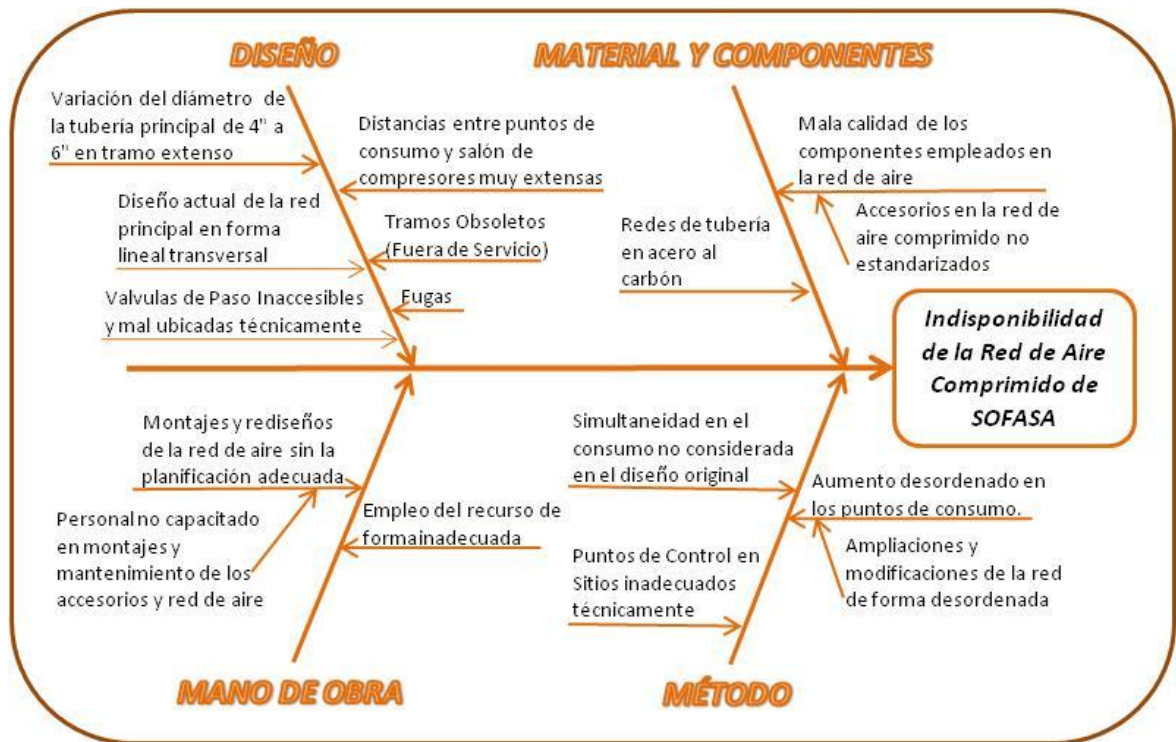
La segunda característica importante en cuanto a calidad de aire es la eliminación de toda la humedad que el aire comprimido pueda transportar al interior de las tuberías de transporte.

El último aspecto importante a considerar es la presión de trabajo al interior de cada una de las líneas de producción (talleres), las cuales requieren una presión mínima de 95psig para el correcto funcionamiento de los equipos y herramientas neumáticas. Como norma general, las redes de aire en cada taller deben permanecer en 100psig aproximadamente, con una tolerancia de 7psig.

### 3 DESARROLLO DEL PROYECTO

El comienzo del análisis se hace empleando el diagrama causa-efecto de Ishikawa, el cual permitirá llegar a las causas raíces, y una vez conocidas, plantear un cronograma de trabajo acorde con las necesidades técnicas, y los recursos disponibles. Para este análisis se considerarán cuatro categorías de causas: el Material y los Componentes, el Método, el Diseño y la Mano de Obra. Así se iniciará la búsqueda de las causas que generan la indisponibilidad de la red de aire comprimido de SOFASA. En la figura 4 se muestra el diagrama.

Figura 4. Diagrama causa-efecto de indisponibilidad de la red de aire comprimido de SOFASA

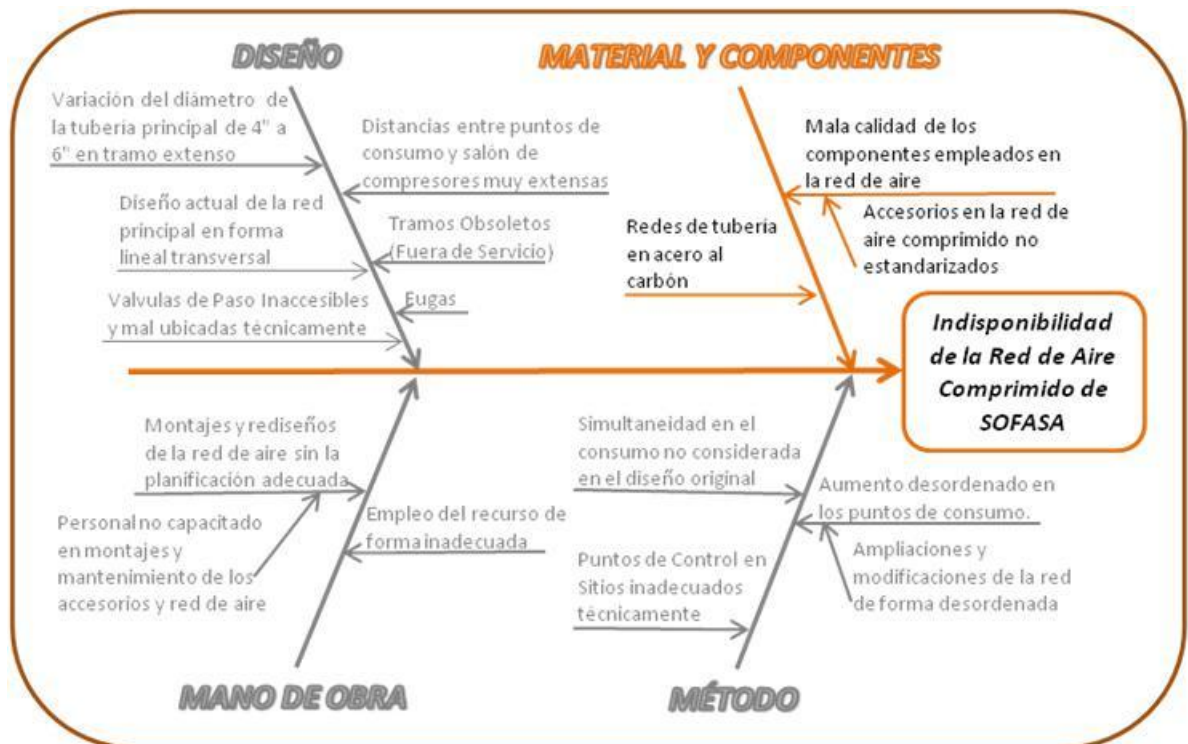


El desarrollo del presente trabajo de grado se hará siguiendo cada una de las categorías de causas, realizando el análisis de cada una de ellas, y determinando así el plan de acción necesario para su corrección, el cual se presentará en el siguiente capítulo. Así mismo, en la medida que sea factible técnicamente y se cuente con los recursos necesarios, se procurará darle solución a cada una de las causas halladas en cada categoría.

### 3.1 CATEGORÍA MATERIAL Y COMPONENTES

La primera categoría de causas a analizar es la correspondiente a los Materiales empleados en la red y los componentes que hacen posible el empleo de aire comprimido y sus derivaciones de la red principal a las redes secundarias y puestos de trabajo. El primer grupo de causas se muestra a continuación en la figura 5.

Figura 5. Categoría de causas Material y Componentes.



En esta categoría de causas se encuentra entonces dos ejes principales sobre los cuales se discutirá: el material de la red principal de aire comprimido, y los accesorios empleados en esta.

### 3.1.1 Materiales de la red de aire comprimido principal.

El material empleado en las tuberías de la red de aire comprimido principales de SOFASA es acero al carbón. Este tipo de tuberías son las más comúnmente utilizadas en el sector industrial debido a su bajo costo en comparación con otras opciones de sistemas, siendo empleado de igual forma por SOFASA bajo las condiciones de trabajo actuales. Adicionalmente, este material cuenta con características ampliamente estudiadas lo que permite una simulación y cálculos comúnmente señalados en la bibliografía que se pueda consultar sobre diseño y cálculo de redes neumáticas. En el desarrollo del proyecto de grado, surgió la posibilidad de plantear a la compañía la reconstrucción de su red de aire comprimido en materiales más livianos, modulares y económicos. Para esta evaluación no se considerarán las pérdidas por fricción para cada material considerado.

El primer sistema considerado es el de redes neumáticas en aluminio, el cual presenta características técnicas similares a la tubería de acero carbón, pero con ventajas en peso y resistencia a la corrosión por humedad en las líneas de transporte.

La experiencia personal del asesor del presente proyecto de grado, permitió también considerar el empleo de tubería y accesorios en PVC para la red de aire comprimido, pues, se tenía conocimiento de sistemas de redes neumáticas construidos en este material en algunos talleres mecánicos. Considerando el empleo de PVC Nacional, este sistema sería atractivo para la compañía pues son de muy bajo costo de instalación, materiales comerciales de fácil consecución, excelente resistencia a la corrosión por humedad y bajo peso.

La búsqueda de información de sistemas de PVC permitió conocer un sistema de PVC especializado para redes de aire comprimido, siendo esta ofrecida por comercializadores europeos (PREVOST@2008). Actualmente no se encuentran

distribuidores nacionales que comercialicen toda la gama necesaria para la instalación y soporte postventa de este tipo de redes neumáticas, por lo que los precios que se señalan en la tabla a continuación fueron tomados directamente del proveedor europeo.

La consideración de los sistemas arriba señalados permite, finalmente, realizar una comparación uno a uno del costo de algunos elementos comunes de las redes de aire comprimido contra el tradicional en acero al carbón, presentado a continuación en la tabla 8.

Tabla 8. Comparativo de costo entre sistemas propuestos.

<b>TRM [\$/€]</b>	2810
-------------------	------

<b>Accesorios</b>	<b>Acero-Carbón</b>	<b>Aluminio</b>	<b>PVC Nacional</b>	<b>PVC especializado</b>	
Tubería (ML) para 150psi 1"	\$ 9.000	\$ 12.000	\$ 6.500	11 €	\$ 30.910
Tubería (ML) para 150psi 2"	\$ 18.000	\$ 27.000	\$ 7.700	25 €	\$ 70.250
Tubería (ML) para 150psi 3"	\$ 35.000	\$ 58.000	\$ 15.000	53 €	\$ 148.930
Tubería (ML) para 150psi 4"	\$ 52.000	\$ 79.050	\$ 28.000	101 €	\$ 283.810
Válvula de Bola (150psi) 1"	\$ 12.500	\$ 32.100	\$ 12.500	17 €	\$ 47.770
Válvula de Bola (150psi) 2"	\$ 65.000	\$ 86.200	\$ 65.000	39 €	\$ 109.590
Válvula de Bola (150psi) 3"	\$ 150.000	\$ 198.500	\$ 150.000	105 €	\$ 295.050
Válvula de Bola (150psi) 4"	\$ 225.000	\$ 350.600	\$ 225.000	171 €	\$ 480.510
Reducción (150psi) 4" a 3"	\$ 18.000	\$ 36.400	\$ 13.300	27 €	\$ 75.870
Reducción (150psi) 3" a 2"	\$ 15.000	\$ 28.600	\$ 8.500	19 €	\$ 53.390
Reducción (150psi) 2" a 1"	\$ 5.000	\$ 12.500	\$ 2.300	9 €	\$ 25.290
Codo 90° (150psi) 1"	\$ 2.000	\$ 4.200	\$ 830	2 €	\$ 5.620
Codo 90° (150psi) 2"	\$ 4.290	\$ 8.320	\$ 4.800	4 €	\$ 11.240
Codo 90° (150psi) 3"	\$ 12.100	\$ 18.500	\$ 16.000	9 €	\$ 25.290
Codo 90° (150psi) 4"	\$ 23.100	\$ 53.600	\$ 35.000	28 €	\$ 78.680
T (150psi) 1"	\$ 1.750	\$ 4.200	\$ 1.100	2 €	\$ 5.620
T (150psi) 2"	\$ 5.256	\$ 15.000	\$ 6.200	10 €	\$ 28.100
T (150psi) 3"	\$ 18.000	\$ 28.000	\$ 21.200	17 €	\$ 47.770
T (150psi) 4"	\$ 35.000	\$ 59.500	\$ 46.000	28 €	\$ 78.680

\* Precios sin IVA (Importaciones Exworks)

Los datos brindados por los proveedores permiten determinar la factibilidad económica de la utilización de nuevos sistemas de redes neumáticas. El primer caso a considerar es el del sistema en aluminio. La calidad del aire comprimido de SOFASA permite asegurar que una de las características propias de los sistemas de aluminio, la cual es la mayor resistencia a la corrosión por humedad en el sistema, no debe ser una condición técnica de consideración, debido a la utilización de secadores antes de la entrada al sistema de transporte . Así pues, la comparación entre el sistema considerado (aluminio) y el sistema tradicional (acero al carbón) se debe realizar netamente en función del costo, donde el valor consolidado de los ítems cotizados es superior en cerca de 58%. Esto hace inviable la utilización del sistema de transporte neumático en aluminio.

El siguiente sistema considerado, muy atractivo por su facilidad de instalación, poco peso y bajo costo es el PVC. Una investigación en línea arrojó posibles proveedores de estas instalaciones en Europa (PREVOST@2008) que alentaban la posibilidad de emplear este tipo de sistemas dentro del salón de producción de SOFASA, pero una investigación más profunda reveló estudios con consideraciones de seguridad. Una de las principales características que se deben observar es aquella señalada por varios autores quienes recomiendan nunca emplear PVC o CPVC para el transporte de aire comprimido o gases, pues se pueden originar presiones altas que generan fallas por explosión con alto riesgo de accidente para el personal (LEVY, 2000, p168). Este peligro se acrecienta debido a la degradación del material debido al desgaste por fricción más acelerado, en comparación con los sistemas tradicionales (LANDIS, 1998, p121)

La consideración técnica que se debe considerar de más alto impacto en el uso de redes de aire comprimido en PVC dentro de las instalaciones de producción de SOFASA, es la posibilidad de generación de chispas causadas por corrientes electroestáticas generadas por la fricción entre el desplazamiento de aire comprimido y el material de la red, llegando por pruebas técnicas a valores

medidos de hasta 6kV (LÜTTGENS, 1997, p128). Esta característica que presentan las redes de aire comprimido en PVC se vuelve fundamental a la hora de considerar instalaciones donde se presentan vapores volátiles altamente inflamables, como son las cabinas de aplicación de pintura, en donde es necesario utilizar el recurso.

Así pues, no es recomendable el empleo de materiales diferentes a los actualmente utilizados, con consideraciones de mantenimiento apropiadas, de las cuales se hablará en la categoría de diseño.

### 3.1.2 Accesorios empleados en la red de aire comprimido principal.

La casa matriz principal de SOFASA, Renault, dictamina una serie de equipos recomendados para el empleo de sus filiales en todo el mundo. Este listado es construido con base en la calidad de los productos, la disponibilidad y rendimiento de las plantas esperadas por la multinacional. Los sistemas neumáticos no son la excepción, más aún considerando la importancia vital que tienen estos sistemas para el desarrollo apropiado de la actividad económica de estas compañías. Estos listados están a disposición de todas las plantas Renault alrededor del mundo y son normas y parámetros de trabajo y diseño de sistemas y procesos.

El conocimiento y empleo apropiados de este listado aseguran la calidad de componentes y sistemas, pero en la actualidad, la utilización de componentes, marcas y referencias específicas para la red de aire comprimido no están actualmente estandarizados en los procedimientos internos de SOFASA, y no están considerados en el procedimiento de recepción de equipos realizado por la división de mantenimiento. Con este fin, se hace la primera revisión del procedimiento de recepción de equipos, modificando la versión con el fin de solicitar al interesado de realizar modificaciones a los componentes de la red, o interesado en ingresar un equipo que haga uso del sistema neumático, que se

remita como primer paso en la modificación de la red, modificación de componentes o ingreso de nuevos equipos a la planta, al listado de equipos recomendados por Renault. El personal de la división de mantenimiento tendrá así como primer paso de chequeo para la aceptación de una nueva instalación o equipo, el cumplimiento de las normas establecidas por la casa matriz. Esta modificación se hace al procedimiento interno de SOFASA (SC 53001, Procedimiento para la aceptación de equipos e instalaciones locativas) cuyo original se muestra en el anexo A. La modificación propuesta se puede ver a continuación en la figura 6.

Figura 6. Primera modificación propuesta al procedimiento SC 53001

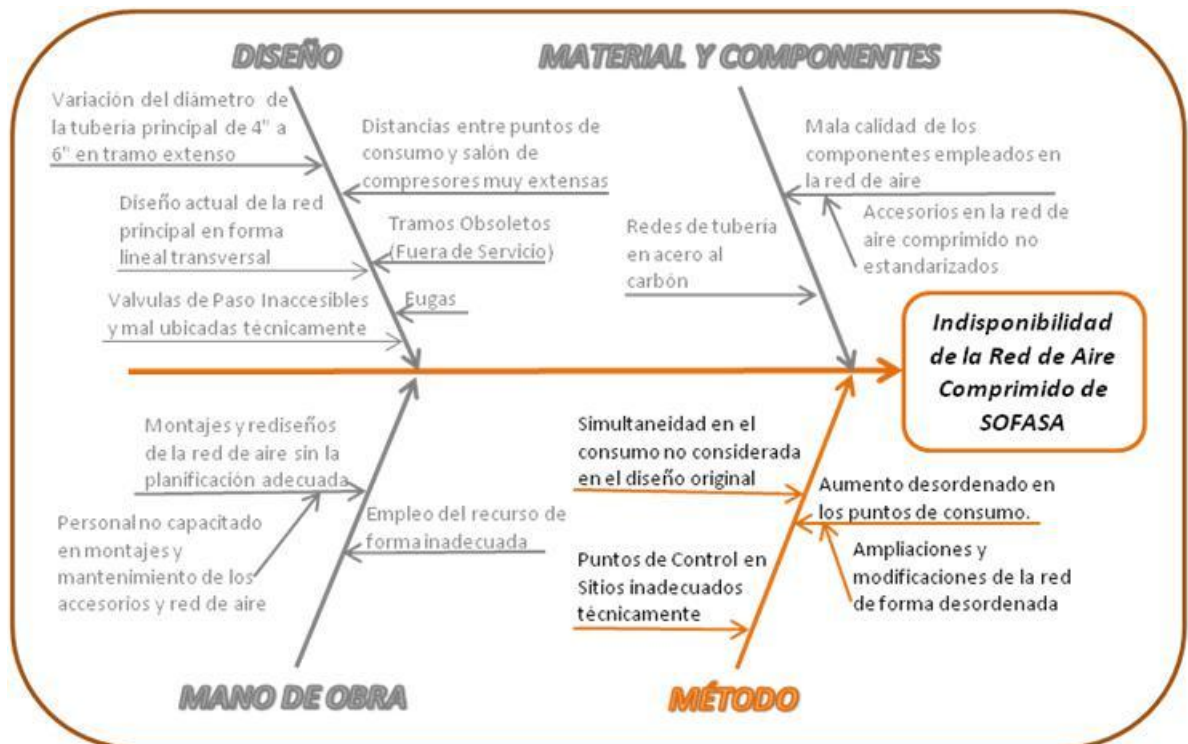
SOFASA	VALIDACIÓN Y RECEPCIÓN DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN			
VEHÍCULO Y/O PROYECTO:	OPERACIÓN:			FECHA
NOMBRE DEL BIEN O EQUIPO:				
CRITERIOS DE RECEPCIÓN	OK	NO OK	NO APLICA	COMENTARIOS
Cumple con el listado de Materiales Recomendados por Renault				
Instrucciones de utilización				
Hoja de vida del equipo diligenciada (ver registro R-X01-SC)				

El desarrollo de este capítulo permitirá generar el diagnóstico, y con ello el plan de acción propuesto que una vez ejecutado, logrará reducir los problemas de indisponibilidad de la red de aire comprimido y preparará la red neumática principal para futuras ampliaciones, adiciones y modificaciones conforme las necesidades de la compañía así lo requieran. El diagnóstico y plan de trabajo se presentará en el siguiente capítulo del presente proyecto de grado.

### 3.2 CATEGORÍA MÉTODO

La segunda categoría de causas construida en el diagrama causa-efecto de Ishikawa corresponde al método. Dentro de esta categoría se pretende señalar las causas de la indisponibilidad actual de la red debido a la forma de crecimiento del sistema neumático principal de la compañía, y las consecuencias de este. Este grupo de causas se puede ver en la figura 7,

Figura 7. Categoría de causas Método.

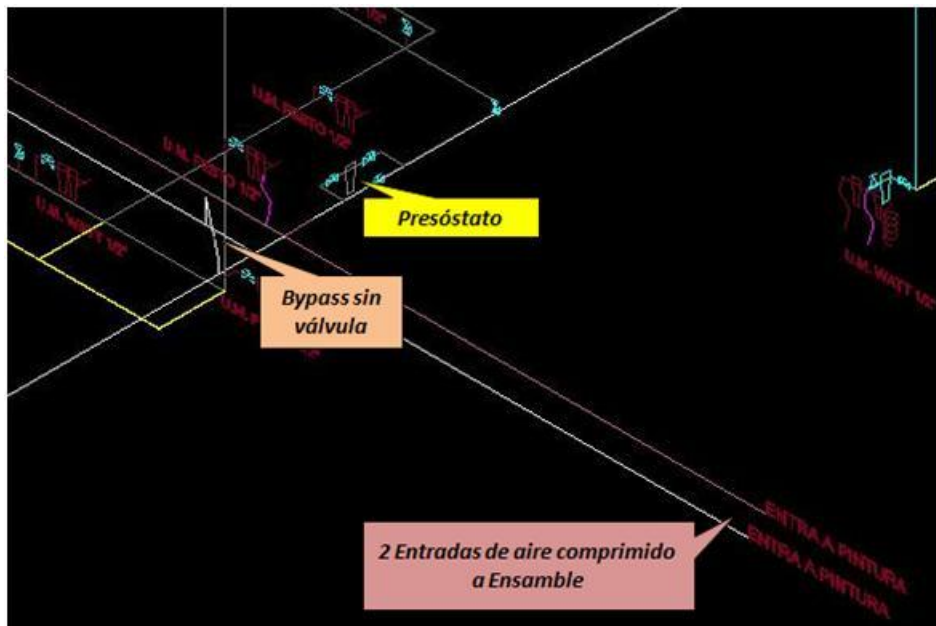


La figura anterior muestra entonces tres causas que se abordarán: los puntos de control actuales, la simultaneidad en el consumo y las modificaciones que ha sufrido la red, las cuales han alterado el diseño original de esta.

### 3.2.1 Puntos de Control

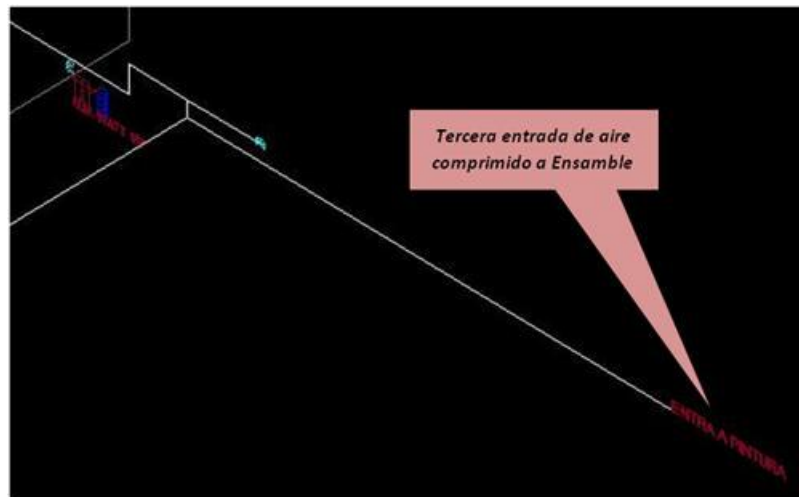
La calidad de los productos ofrecida por SOFASA se basa en el aseguramiento de la calidad de los procesos que los fabrican. Este aseguramiento de la calidad de los procesos pretende evitar que se construyan vehículos con equipos o herramientas cuyas condiciones de funcionamiento adecuadas no estén aseguradas. Con este fin, a lo largo de las líneas de fabricación, y en el caso particular de la red de aire comprimido, se encuentran equipos que miden las variables del fluido evitando que, en caso de disminuir la presión trabajo en un sector específico de la planta, se generen productos no acordes con los parámetros establecidos, deteniendo el proceso productivo mientras se restablecen las condiciones adecuadas de trabajo. En la figura 8 podemos observar la ubicación actual del presóstato, el cual actúa como garante de la presión de aire comprimido en la línea de ensamble, y las características actuales de distribución de la red en ese sector.

Figura 8. Ubicación presóstato línea de ensamble.



Las líneas de ensamble y pintura en particular se encuentran protegidas por presóstatos que miden la presión en red de aire principal, pero el crecimiento desorganizado de la red, no permite asegurar la correcta medición de los parámetros específicos actualmente. Esto se puede apreciar en la figura 8, donde se observa que la línea que actualmente está controlando el presóstato es sólo una de muchas que alimentan el taller de ensamble. Este problema también se puede ver en la figura 9, donde se señala una nueva entrada de aire comprimido desde pintura, en el extremo opuesto del taller señalado en la figura 8.

Figura 9. Tercera entrada de aire al taller de ensamble.



Ingeneumática – SOFASA 2006

### 3.2.2 Simultaneidad en el consumo

El diseño de las redes de fluidos en SOFASA estaban planteados para una cadencia y volúmenes de producción mucho menores de los actuales. El crecimiento en el mercado automotor en la región andina atendida por esta compañía (Colombia, Ecuador, Venezuela, Chile, Perú) en los últimos cinco años, han generado al interior de la planta de producción un aumento considerable en la cadencia (velocidad de producción).

El impacto generado por aumentos de producción, se puede medir en la mano de obra disponible (aumento significativo) y un crecimiento de los equipos que realizan la fabricación de los vehículos. Estas nuevas condiciones, supeditan un incremento importante en el coeficiente de simultaneidad de empleo de herramientas neumáticas, llegando incluso en algunos puestos de trabajo a triplicarse.

### 3.2.3 Ampliaciones y modificaciones de la red: capacidad instalada

El fenómeno explicado anteriormente sobre el crecimiento acelerado de los equipos, la mano de obra y las adecuaciones que estos han demandado de la red de aire comprimido, genera que actualmente se encuentre subestimados los cálculos de capacidad y consumo de aire comprimido originales. Actualmente, la división de mantenimiento no posee información precisa de la cantidad de equipos y herramientas neumáticas instaladas y la demanda de aire que estas originan, así como la presión de trabajo.

La división de mantenimiento emplea el listado de equipos en planta (SC 53016) para definir sus planes de mantenimiento, así como para administrar los recursos necesarios para mantener en correcto funcionamiento todos estos equipos. Empleando este listado, se investigó con cada proveedor las presiones de trabajo y la demanda de aire comprimido de cada uno de los equipos neumáticos registrados en este listado, actualizado a enero de 2008. Las tablas 9 a 12 muestran el consumo de cada taller, empleando para cada caso el consumo teórico de cada equipo según las respectivas fichas técnicas, con excepción de soldadura, de la cual se extrae la información de un estudio de consumos en producción realizado por la empresa Ingeneumática en abril de 2007. La información construida se realiza siguiendo los parámetros para el diseño de redes neumáticas de Carnicer Royo (CARNICER ROYO, 1977, p. 220)

Tabla 9. Consumo registrado en taller Soldadura – SOFASA

<i>Número de Máquinas o Herramientas</i>	<i>Características</i>	<i>Consumo Unitario [cfm]</i>	<i>Consumo Total [cfm]</i>	<i>Presión de Trabajo [psi]</i>
1	Estudio Consumos Abril 2007	530	530	100
<b>Consumo Herramienta-Equipo Titular</b>			<b>530</b>	

Ingeneumática – SOFASA, 2007

Tabla 10. Consumo registrado en taller Pintura – SOFASA

<i>Número de Máquinas o Herramientas</i>	<i>Características</i>	<i>Consumo Unitario [cfm]</i>	<i>Consumo Total [cfm]</i>	<i>Presión de Trabajo [psi]</i>
16	Bomba de Diafragma Graco Husky 1040	35	560	100
2	Bomba de Aspersión Mastic D318 Graco 207-647	81	162	100
2	Bomba de Extrusión Mastic D318 Graco 222-800	90	180	100
5	Bomba Surfacer Graco 220-564	40	200	100
1	Bomba Surfacer Graco 220-564 (Stand-By)	40	40	100
12	Bomba Esmaltes Graco 220-568	30	360	100
6	Bomba Esmaltes Graco 220-571	26	156	
<b>Consumo Herramienta-Equipo Titular</b>			<b>1618</b>	

Catálogo Graco

Tabla 11. Consumo registrado en taller de Ensamble - SOFASA

<i>Número de Máquinas o Herramientas</i>	<i>Características</i>	<i>Consumo Unitario [CFM]</i>	<i>Consumo Total [CFM]</i>	<i>Presión de Trabajo [psi]</i>
1	Bomba llenado aceite Caja Toyota Graco 226-226	20	20	100
1	Bomba llenado aceite diferencial delantero Graco 226-940	6	6	100
1	Bomba de Grasa Toyota Delta Graco 205-791	20	20	100
2	Bomba Fastflow Graco 240-946	50	100	100
2	Bomba Fastflow Graco 207-647	81	162	100
2	Bomba Gurit Graco 220-106	81	162	100
1	Bomba Aplicación Cera P2 Graco 205-395	19	19	100
1	Bomba de Aceite TRANSEJES (Comodato) Graco 205-395	19	19	100
1	Bomba Grasa TRANSEJES (Comodato) Graco 204-254	10	10	100
<b>Consumo Herramienta-Equipo Titular</b>			<b>518</b>	

Catálogo Graco

Tabla 12. Consumo registrado en taller de Piezas Plásticas - SOFASA

<i>Número de Máquinas o Herramientas</i>	<i>Características</i>	<i>Consumo Unitario [CFM]</i>	<i>Consumo Total [CFM]</i>	<i>Presión Máxima de Trabajo [psi]</i>
2	Pistola HVLP Graco XT-Series	18	36	100
7	Pistola HVLP Graco XT-Series (Stand-by)	18	126	100
6	Pistola HVLP Graco 239-54X	21	126	100

2	Bomba Fastflow Graco 240-946	50	100	100
6	Pistola de Gravedad Graco 600	12	72	100
3	Pistola de Gravedad Graco 700	22	66	100
24	Marmita de Pintura Graco	15	360	
<b>Consumo Herramienta-Equipo Titular</b>			<b>886</b>	

Catálogo Graco.

La consideración de los datos que se muestran en las tablas anteriores, se puede resumir en una tabla que enseña el resumen de estos consumos. Esta tabla resumen se muestra a continuación en la tabla 13.

Tabla 13. Resumen consumos en planta de producción SOFASA

Consumo Equipos Instalados [cfm]	
Soldadura	530
Pintura	1658
Ensamble	518
Piezas Plásticas	508
<b>TOTAL</b>	<b>3214</b>

Una observación válida sobre este consumo calculado es la diferencia entre la capacidad instalada para la generación de aire comprimido y el consumo demandado. A pesar que se tienen 3 compresores instalados para poder tener stand-by de generación y evitar problemas por paro de línea en caso de falla del compresor principal (ZR400), actualmente este no es técnicamente capacitario con la planta, y debe ser ayudado por uno de los compresores de standby. Así pues, la

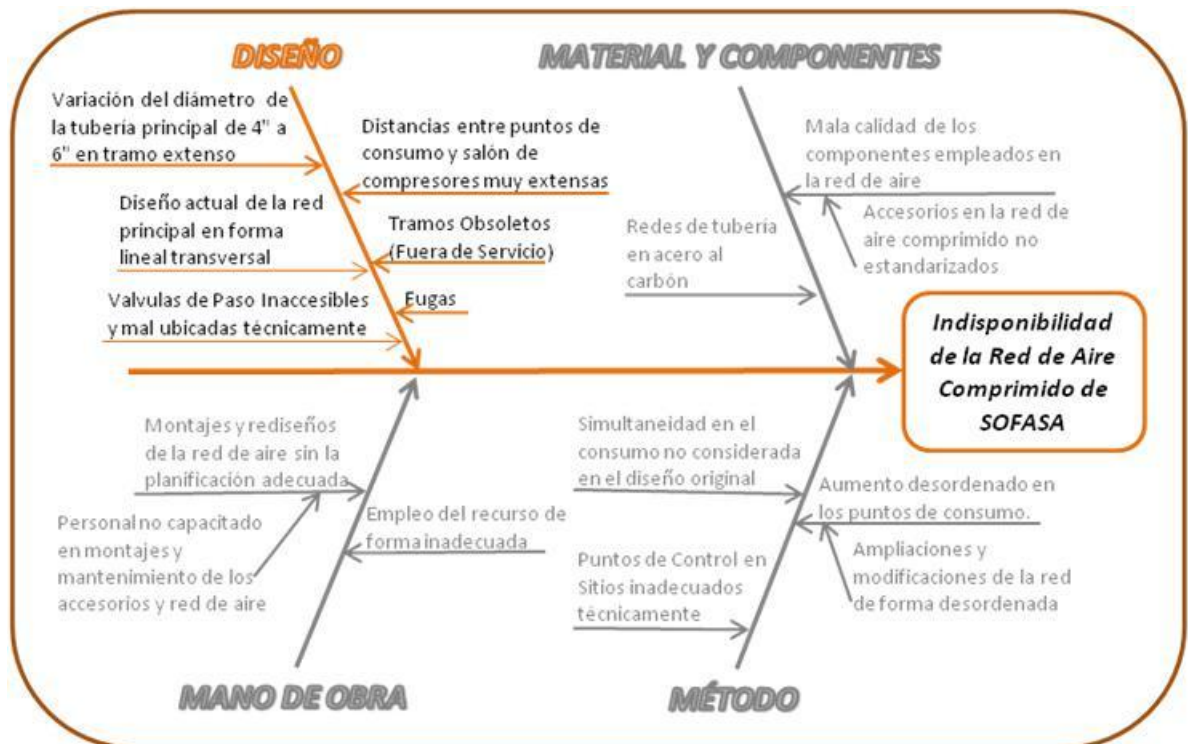
planta de producción de SOFASA no tiene equipos de generación de aire comprimido de respaldo.

El hecho anteriormente expuesto se ve agravado por la imposibilidad de conocer la totalidad de los equipos y herramientas neumática instalada (el listado no tiene en cuenta, por ejemplo, las pistolas de aplicación de pintura en este taller), y el porcentaje actual de simultaneidad. Para tener un conocimiento más detallada, y acorde con el alcance planteado del proyecto, en el anexo B se muestra el contrato entre SOFASA e Ingeneumática, empresa encargada de realizar las mediciones de consumo reales en el taller de Piezas Plásticas. De este análisis de consumo de aire comprimido en el taller de piezas plásticas, se podrá conocer el porcentaje actual de utilización de los equipos bajo las condiciones de producción actuales. De igual manera, se debe procurar levantar un listado de herramienta y equipo neumático más detallado, que con su conservación actualizada, como se sugiere en el siguiente capítulo.

### 3.3 CATEGORÍA DISEÑO

La categoría referente al grupo de causas debidas a al diseño de la red de aire comprimido, considerará las relacionadas con el crecimiento indebido de la red a medida que ha crecido la planta de producción, y se ha modificado la distribución del salón de producción. En la figura 10 mostrada a continuación, se pueden identificar las causas halladas en esta categoría.

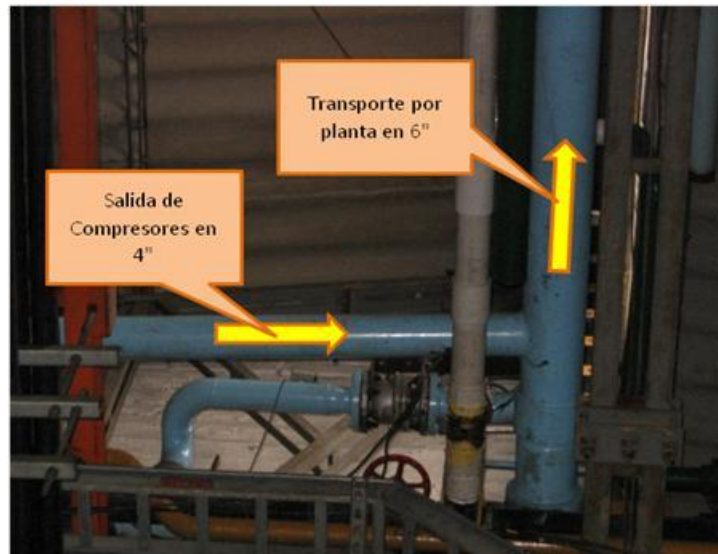
Figura 10. Categoría de Causas Diseño.



### 3.3.1 Tramo Tubería 6"

El acelerado crecimiento de producción de SOFASA ha generado situaciones de consumo que no estaban consideradas en el diseño original de la red de aire comprimido, como se ha explicado en capítulos anteriores. Las modificaciones principales al sistema de aire comprimido de SOFASA se han realizado sin consideraciones técnicas más allá de la suplencia de las necesidades de la instalación que se requiere en el momento, y no se piensa en el sistema como un todo. Actualmente un tramo de tubería de transporte de alrededor de 300 metros es de un diámetro mayor al diámetro de la tubería proveniente de la sala de compresores. Este aspecto de la red se puede ver en la fotografía 5, mostrada a continuación.

Fotografía 5. Cambio de diámetro de tubería principal de 4" a 6"



El tramo de tubería de 6" de diámetro debe ser considerado como un depósito de aire adicional a la red de aire comprimido. Teniendo en cuenta las longitudes y

diámetros de la red, este volumen estará dado como se muestra en la tabla 14 señalada a continuación.

Tabla 14. Cálculo volumen tubería 6"

<b>Accesorio</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Diámetro [m]</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>
Tubería 6"	314,0	0,15	5,7

Este volumen debe ser considerado en caso de retirarse esta tubería, pues actualmente trabaja como tanque de almacenamiento, el cual ayuda a mantener la presión constante en los puntos de consumo en situaciones de empleo simultáneo.

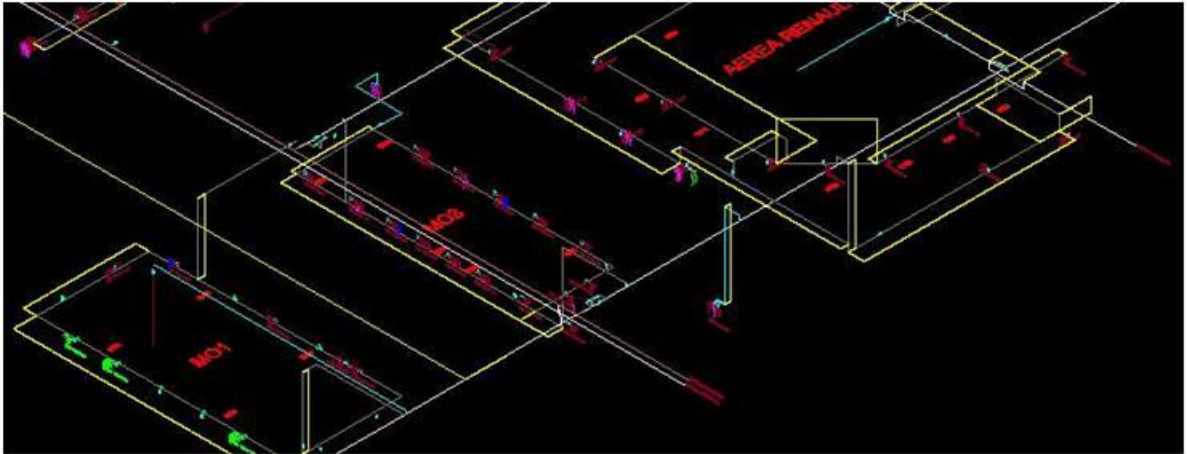
### 3.3.2 Diseño actual de la red principal en forma transversal.

El diseño actual de la red de aire comprimido es, originalmente, un diseño transversal. Esta distribución abierta que lleva a cada punto de consumo es un diseño que puede ser factible, pero las constantes y desorganizadas adiciones y modificaciones lo han alterado significativamente. Estas alteraciones al diseño original han ocasionado irregularidades notables como aumento de diámetro en la tubería de transporte de aire comprimido (como se vio en la Fotografía 5). Estas alteraciones restringen la comprensión efectiva de la red, alteran el comportamiento del fluido y hacen imposible la comprensión de las variables técnicas que lo afectan.

La división de mantenimiento realizó en el año 2006 un levantamiento de los planos de la red de aire comprimido, de los cuales se extrae un apartado con la situación actual de uno de los talleres que más dificultades presenta por

problemas de indisponibilidad de la red de aire comprimido, el taller de ensamble, señalado a continuación en la figura 11.

Figura 11. Plano red de aire comprimido taller de ensamble – SOFASA 2006.



Ingeneumática – SOFASA 2006.

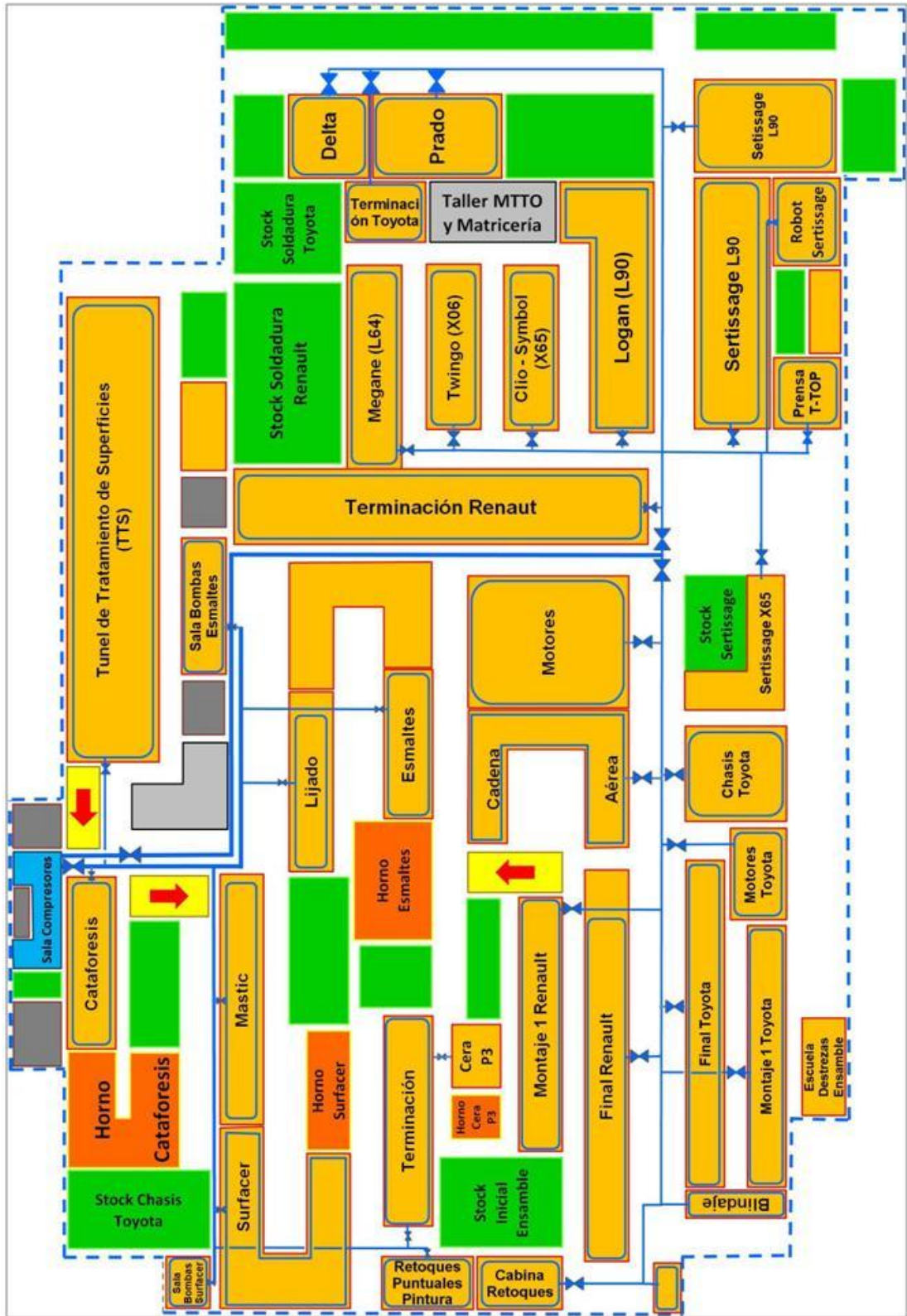
La distribución generada por modificaciones, por los aumentos de diámetro a los cuales se encuentra sometida, genera una caída de presión. El incremento en el diámetro de la tubería genera disminuciones en la presión en la quinta potencia del diámetro (CARNICER, 1977, p225), atendiendo la ecuación de D'Arcy:

$$\Delta P = 3,25\alpha \frac{q^2 L \delta}{d^5}$$

(CARNICER, 1977, p224)

La figura 12 mostrada a continuación, representa una propuesta técnicamente viable para el diseño de la red de aire comprimido del salón de producción de SOFASA

Figura 12. Propuesta de diseño red de aire comprimido principal SOFASA.



El diseño de red neumática principal propuesto permite reducir las caídas de presión debidas a cambios en los diámetros de la tubería, y a la vez asegura una distribución lógica que permite ampliaciones y modificaciones futuras acordes con el diseño inicial, mitigando las conexiones descontroladas, y siendo constante a lo largo del tiempo.

A modo de ejemplo, se realiza el cálculo de caída de presión desde el salón de compresores hasta el loop de final Renault, en el taller de ensamble. Para este fin, se calcula la distancia de tramos rectos, adicionando las longitudes equivalentes de los accesorios, según se muestra en la figura 13, dispuestos según en diagrama presentado en la figura 12.

Figura 13. Longitudes equivalentes para accesorios de redes neumáticas.

**Tabla 13.2 Pérdida de presión en los accesorios de tubería, expresada en metros equivalentes de tubería recta**

<i>Accesorios para tubería</i>	<i>Longitud equivalente en metros</i>						
	<i>Diámetro interior tubería</i>						
	<i>1"</i>	<i>1 1/2"</i>	<i>2"</i>	<i>3"</i>	<i>4"</i>	<i>5"</i>	<i>6"</i>
Válvula de diafragma	1,5	2	3	4,5	6	8	10
Válvula de compuerta	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5
Curvas de 90°	0,3	0,5	0,6	1	1,5	2	2,5
Curvas de 45°	0,15	0,25	0,3	0,5	0,8	1	1,5
Codos redondos	1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
Codos con enlace	1	2	2,5	4	6	7,5	10
Tes	2	3	4	7	10	15	20
Manguitos de reducción	0,5	0,7	1	2	2,5	3,5	4

CARNICER, 1977, p236

Los accesorios propuestos en el tramo analizado se presentan en la tabla 15 mostrada a continuación.

Tabla 15. Listado de accesorios en red neumática a montaje Final Renault.

<i>Accesorio</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Longitud Equivalente Unitaria [m]</i>	<i>Longitud Equivalente Total [m]</i>
Tubería 4"	250 metros	250	250
Válvula de Bola 4"	1 unidad	6	6
Codo 90° 4"	3 unidades	1,5	4,5
Te 4"	1 unidad	10	10
Reducción 4"	1 unidad	2,5	2,5
Tubería 3"	100 metros	100	100
Válvula de Bola 3"	1 unidad	4,5	4,5
Te 3"	1 unidad	7	7
<b>TOTAL</b>			<b>384,5</b>

El cálculo se realiza empleando la fórmula de caída de presión en tubería recta, la cual se presenta a continuación:

$$\Delta P = \frac{\beta}{RT} \cdot \frac{v^2}{D} \cdot Lp$$

Donde:

$\Delta P$ : caída de presión en atmósferas.

p: presión en atmósferas.

R: constante del gas, equivalente a 29,27 para el aire.

T: temperatura absoluta.

D: diámetro interior de la tubería en milímetros.

L: longitud de la tubería en metros.

v: velocidad del aire en metros por segundo, determinado por:

$$v = \frac{\frac{m^3}{min}}{60 p} \times \frac{10000}{sección tubo [cm^2]}$$

$\beta$ : índice de resistencia, grado medio de rugosidad, variable con la cantidad suministrada G, según la tabla mostrada en la figura 14.

G: cantidad de aire suministrado en kilogramos por hora, determinada por:

$$G = 1,3 \frac{m^3}{min} \cdot 60$$

(CARNICER, 1977, 228)

El comienzo del cálculo se debe realizar con la conversión de las características técnicas de la red propuesta a las unidades de trabajo de las ecuaciones antes vistas. Estas conversiones se muestran a continuación en la tabla 16:

Tabla 16. Características de la red propuesta.

<b>Característica</b>	<b>Valor original</b>	<b>Valor corregido</b>
Presión nominal salida compresores	100 psi	6,80 atm
Temperatura de trabajo	25 °C	298 K
Diámetro interior tubería 4"	4 in	10,16 cm
Diámetro interior tubería 3"	3 in	7,62 cm
Área sección tubería 4"	12,57 in <sup>2</sup>	81,1 cm <sup>2</sup>
Área sección tubería 3"	7,07 in <sup>2</sup>	45,61 cm <sup>2</sup>
Caudal requerido	520 cfm	14,74 m <sup>3</sup> /min

El primer paso para el cálculo es determinar la cantidad de aire suministrado (G).

$$G = 1,3 * 14,74 \frac{m^3}{min} * 60$$

$$G = 1149 \frac{kg}{hora}$$

La cantidad de aire suministrado permitirá conocer el índice de resistencia del sistema. Para esto se emplea la tabla 13.1 de Carnicer Royo, la cual se muestra en la figura 14.

Figura 14. Índice de resistencia para la cantidad de aire comprimido suministrado.

Tabla 13.1. Índices de resistencia  $\beta$  para  $G$  kg de peso del aire comprimido que circula a la hora

$G$	$\beta$	$G$	$\beta$	$G$	$\beta$	$G$	$\beta$
10	2,03	100	1,45	1 000	1,03	10 000	0,73
15	1,92	150	1,36	1 500	0,97	15 000	0,69
25	1,78	250	1,26	2 500	0,90	25 000	0,64
40	1,66	400	1,18	4 000	0,84	40 000	0,595
65	1,54	650	1,10	6 500	0,78	65 000	0,555
100	1,45	1000	1,03	10 000	0,73	100 000	0,520

CARNICER, 1977, p229

El valor se encuentra interpolando entre los datos tabulados en la tabla mostrada en la figura anterior, de lo cual se halla que el índice de resistencia es igual a:

$$\beta = 1,012$$

El cálculo preliminar faltante se calcula siguiendo la ecuación de velocidad del aire, con las características de la red antes señaladas en la tabla 16. Para el tramo de tubería de 4 pulgadas se tiene que:

$$v = \frac{14,74 \frac{m^3}{min}}{60 * 6,80} \times \frac{10000}{81,1 cm^2}$$

$$v = 4,45 \frac{m}{s}$$

El tramo de tubería de 3 pulgadas se calcula de igual forma:

$$v = \frac{14,74 \frac{m^3}{min}}{60 * 6,80} \times \frac{10000}{45,61 cm^2}$$

$$v = 7,92 \frac{m}{s}$$

El cálculo de la caída de presión se debe realizar para cada tramo de tubería, dependiendo del diámetro, por lo que en la tabla 17 se presentan las variables para el tramo de 4 pulgadas.

Tabla 17. Variables del cálculo de caída de presión línea de ensamble tramo 4”.

<i>Tramo 4 pulgadas</i>		
<i>Variable</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
$\beta$	1,012	
R	29,27	
T	298	Kelvin
v	4,45	metros por segundo
D	10,16	centímetros
L	273	metros
p	7,49	atmósferas

La caída de presión en este tramo será entonces:

$$\Delta P = \frac{1,012}{29,27 * 298} \cdot \frac{4,45^2}{10,16} \cdot 273 * 7,49$$

$$\Delta P = 0,46 \text{ atm} \approx 6,17 \text{ psi}$$

El tramo de 3 pulgadas tiene las siguientes características, las cuales se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Variables del cálculo de caída de presión línea de ensamble tramo 3”

<b>Tramo 3 pulgadas</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
$\beta$	1,012	
R	29,27	
T	298	Kelvin
v	7,92	metros por segundo
D	7,62	centímetros
L	111,	metros
p	7,03	atmósferas

EL cálculo de la caída de presión en este tramo será:

$$\Delta P = \frac{1,012}{29,27 * 298} \cdot \frac{7,92^2}{7,62} \cdot 181,1 * 7,03$$

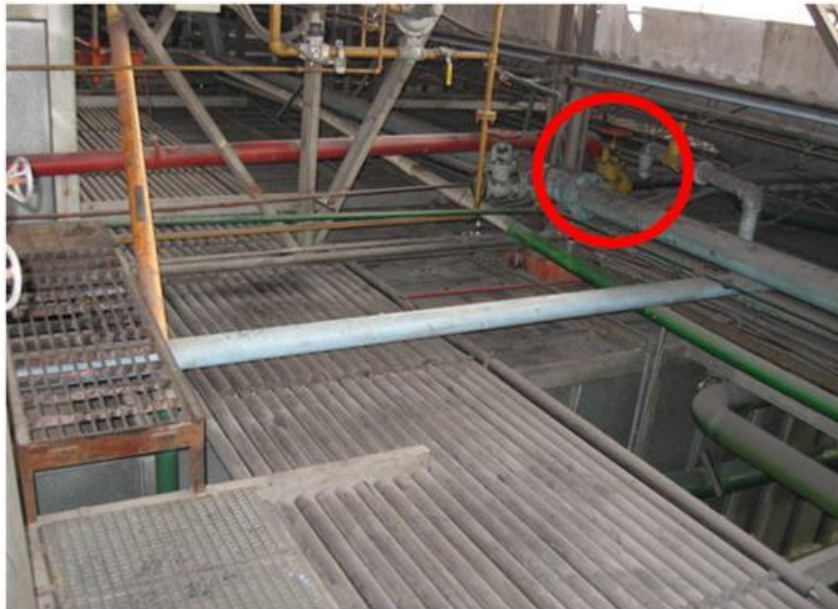
$$\Delta P = 0,75 \text{ atm} \approx 11,02 \text{ psi}$$

Los cálculos realizados para el tramo más alejado del salón de producción, permiten afirmar que el diseño propuesto de la red de aire comprimido señalado en la figura 12 es técnicamente viable. El costo de la adecuación de la red puede ser minimizado reutilizando algunos tramos obsoletos de tubería de la red neumática actual. Este tema se tratará más adelante en este mismo capítulo.

### 3.3.3 Válvulas de paso inaccesibles y mal ubicadas.

El crecimiento desorganizado que ha sufrido la red de aire comprimido ha ocasionado que algunas válvulas que restringen el paso a determinadas zonas de consumo queden en lugares inaccesibles para su accionamiento y su apropiado mantenimiento. Este caso se puede enseñar gráficamente en la fotografía 6 mostrada a continuación.

Fotografía 6. Válvula de paso inaccesible.



El problema señalado genera dificultades cada vez que se pretende realizar una nueva instalación neumática, pues se deben cerrar las válvulas principales en la sala de compresores para realizar una sencilla intervención en un taller. Esta situación es particularmente sensible en periodos de producción, pues no se puede intervenir un pódico o taller, pues la totalidad de la planta sufriría el corte en el fluido de aire comprimido, lo que afecta la disponibilidad de toda la planta de producción en situaciones donde sólo se debe intervenir un sector específico.

El tiempo de respuesta para atender alguna situación correctiva sobre la red neumática principal es también un punto importante en el análisis de la ubicación de las válvulas de paso en cada taller, y diferenciarlas claramente para ser reconocidas para la realización de un plan de mantenimiento e intervenciones. Para el caso del sistema propuesto (visto en la figura 12), se presenta el listado de válvulas principales de cada taller en la tabla 19 mostrada a continuación.

Tabla 19. Listado de válvulas principales propuestas en el diseño de la red.

<b>Número</b>	<b>Descripción</b>
1	Válvula principal Soldadura - Ensamble
2	Válvula principal Pintura
3	Válvula principal Soldadura
4	Válvula principal ensamble

Las válvulas para cada sector de consumo en el taller de soldadura se presentan a continuación en la tabla 20.

Tabla 20. Listado de válvulas taller de soldadura - SOFASA.

<b>Número</b>	<b>Descripción</b>
5	Válvula loop terminación soldadura Renault
6	Válvula loop sertissage X65
7	Válvula loop sertissage L90
8	Válvula loop prensa T-TOP
9	Válvula loop pórtico L90
10	Válvula loop pórtico X65
11	Válvula loop pórtico Twingo
12	Válvula loop pórtico Megane
13	Válvula loop sertissage L90 (2)

14	Válvula loop robot sertissage
15	Válvula loop pórtico Prado
16	Válvula loop terminación Toyota
17	Válvula loop pórtico Delta

Las válvulas de la red neumática principal distribuidas en el taller de pintura de SOFASA, según la propuesta de diseño planteada, se muestran en la tabla 21 a continuación.

Tabla 21. Listado de válvulas taller de pintura – SOFASA.

<b>Número</b>	<b>Descripción</b>
18	Válvula loop túnel de tratamiento (TTS)
19	Válvula loop cataforesis
20	Válvula loop mastic
21	Válvula loop cabina de aplicación surfacer
22	Válvula loop sala de bombas surfacer
23	Válvula loop lijado
24	Válvula loop sala de bombas esmaltes
25	Válvula loop cabina de aplicación esmaltes
26	Válvula loop terminación pintura - cera P3
27	Válvula loop retoques pintura
28	Válvula loop cera P3

La distribución de válvulas en el taller de ensamble se propone de la siguiente forma, según la tabla 22, mostrada a continuación.

Tabla 22. Listado de válvulas taller de ensamble – SOFASA.

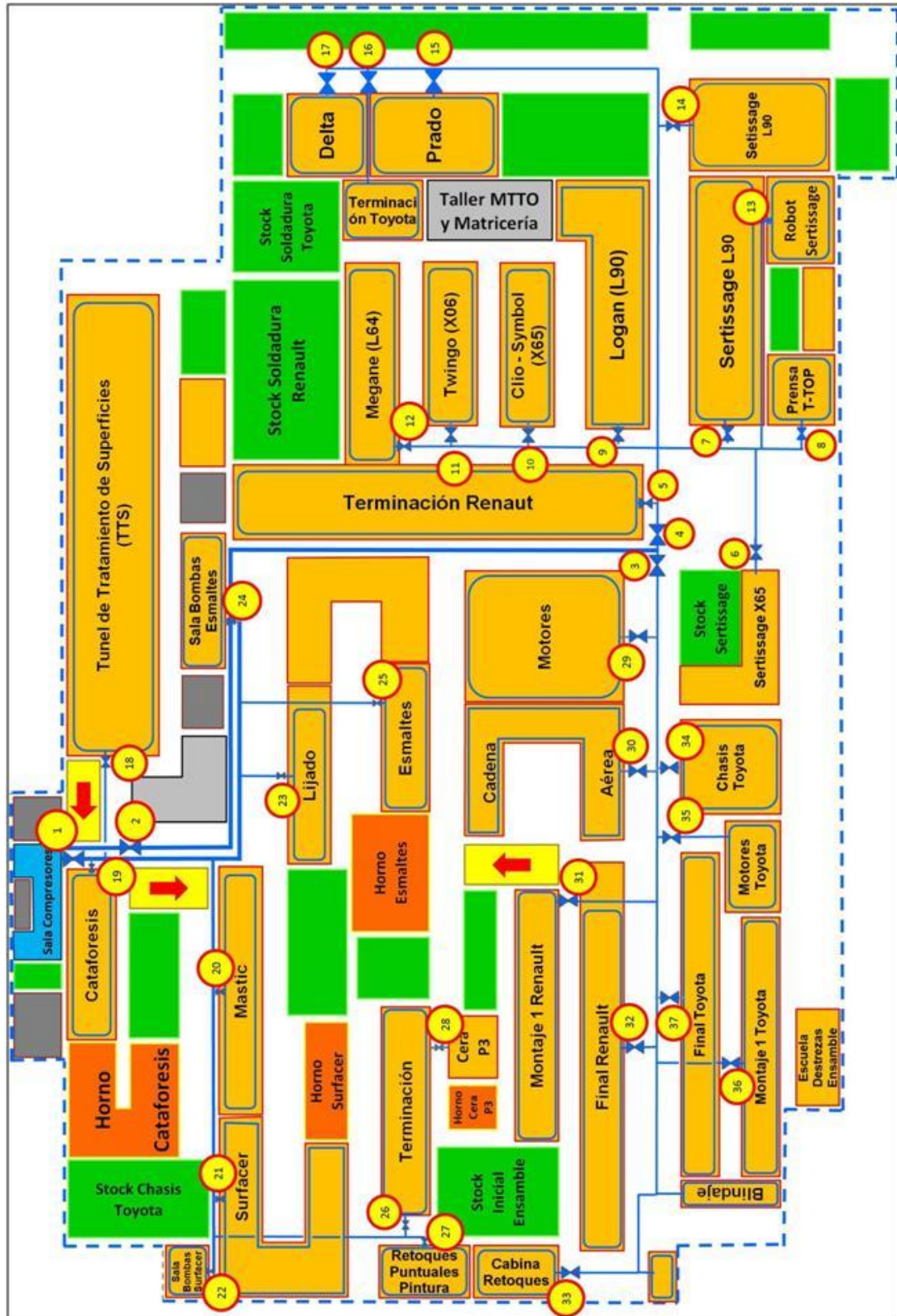
<b>Número</b>	<b>Descripción</b>
29	Válvula loop motores Renault
30	Válvula loop cadena aérea
31	Válvula loop Montaje 1 Renault

32	Válvula loop Final Renault
33	Válvula loop cabina de retoques
34	Válvula loop chasis Toyota
35	Válvula loop motores Toyota
36	Válvula loop Montaje 1 Toyota
37	Válvula loop Montaje Final Toyota

La ubicación de cada una de las válvulas debe hacerse en lugares accesibles rápidamente, para la atención efectiva de mantenimiento o situaciones de emergencia. Para este fin, en el diagrama de la red neumática principal se proponen ubicaciones de tramos y válvulas sobre corredores de circulación libre, los cuales no deben ser obstaculizados por zonas de producción activa. Se debe procurar tener al alcance de los operarios de forma efectiva, los medios necesarios para alcanzar la altura apropiada de las válvulas de paso, las cuales se encuentran a nivel del techo del salón de producción, a unos 7 metros aproximadamente.

La distribución sugerida se muestra a continuación en la figura 15.

Figura 15. Distribución de las válvulas en el diagrama propuesto.



La identificación de cada una de estas válvulas en cada taller de producción debe ser hecha de manera efectiva por los operarios encargados de su manipulación, por lo que se propone igualmente una forma de identificación visual de cada una de ellas, conservando un código visual que permita identificar rápida y claramente la zona de afectación de la válvula y el estado en que ésta debe permanecer. El caso mostrado a continuación en la figura 16, corresponde a una de las válvulas principales de pintura, la cual debe permanecer abierta en operación normal.

Figura 16. Ficha visual ejemplo válvula principal pintura – SOFASA.



Los casos que requieren válvulas cerradas en operación normal (caso de bypass de mantenimiento de secadores), se presenta a su vez a manera de ejemplo en la figura 17.

Figura 17. Ficha visual ejemplo bypass secadores – SOFASA.



La forma como se propone la marcación de las válvulas pretende simplificar al máximo la identificación, brindando la información necesaria al operario que debe intervenir y se presenta en la figura 18.

Figura 18. Forma propuesta de marcación visual de válvulas.



3.3.4 Distancias entre puntos de consumo y salón de compresores muy extensas. La caída de la presión en los puestos de trabajo puede originarse en las distancias de transporte del fluido, las cuales en algunos casos pueden ser tramos de transporte hasta de 500 metros antes de comenzar a ser empleado. Como se pudo apreciar en el apartado anterior, la caída de presión es directamente proporcional a la longitud de la tubería que transporta el aire comprimido. Este motivo permite pensar que una disminución de las distancias de transporte en las tuberías de la red de aire comprimido, pues permite que la presión de salida en la sala de compresores sea menor, disminuyendo al mismo tiempo los costos de generación.

El taller de piezas plásticas es el sitio en donde se aplica el color a todas las partes plásticas de los vehículos que se ensamblan dentro de SOFASA. Este taller tiene una capacidad instalada de equipos neumáticos cercana a los 890cfm. Descartando los equipos de stand-by, la demanda instalada de aire comprimido es ligeramente superior a los 500cfm.

El transporte del aire comprimido hasta este lugar de trabajo se realiza en tubería de 6 pulgadas de diámetro, las cuales atraviesan el salón de producción de SOFASA, vías exteriores a este, y lugares de almacenamiento. Esta situación requiere que algunos tramos de tubería queden bajo suelo para no obstaculizar otros procesos vitales en la compañía, imposibilitando la inspección y mantenimiento de la red, así como la detección de fugas en estos tramos.

La situación planteada se puede ver en las fotografías. Este ejemplo se puede ver claramente en la fotografía 7, donde se muestra el comienzo del tramo de tubería de 6 pulgadas que se entierra, y la fotografía 8, donde se señala uno de los sitios que al modificarse (patios de almacenamiento y vías de transporte internas), han afectado los cárcamos de la red de aire comprimido, impidiendo así las labores de mantenimiento apropiadas.

Fotografía 7. Comienzo del tramo enterrado, red de aire comprimido piezas plásticas.



Fotografía 8. Tramo enterrado sin posibilidad de mantenimiento.

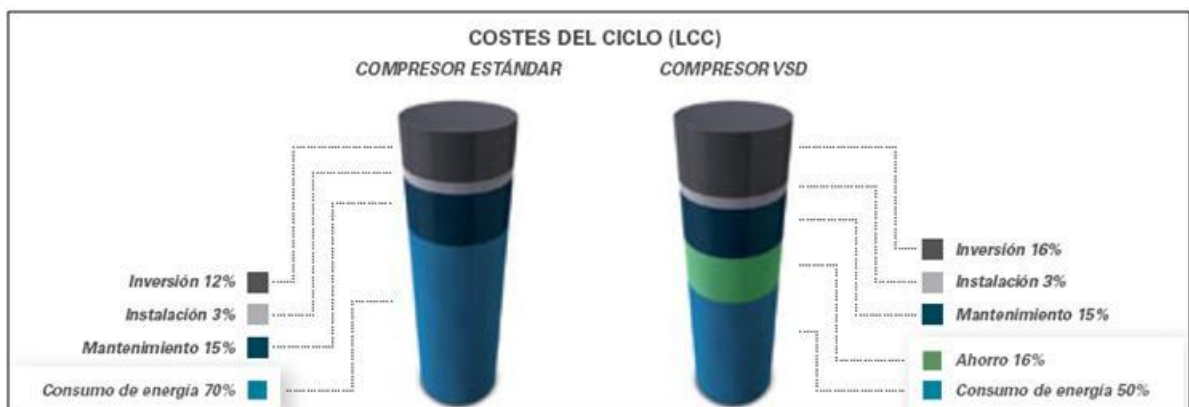


Las condiciones actuales de la red de transporte permiten pensar en una independencia del aire comprimido que se genera para el salón de producción del aire que se requiere para alimentar el taller de piezas plásticas. Con este fin se consultan las necesidades técnicas del aire necesarias para piezas plásticas.

Las condiciones de trabajo de este taller requieren aire libre de aceite para asegurar la calidad de los productos allí realizados, al igual que las condiciones apropiadas de aire empleado en las escafandras usadas por el personal que labora en este sector. Este requerimiento entonces determina que el compresor a emplear para este taller debe ser exento de aceite, de capacidad mayor a 520cfm, que eleve la presión de trabajo en la zona a poco más de 100psi.

La división de mantenimiento sugiere continuar con equipos marca Atlas Copco, debido a las relaciones comerciales y técnicas que se conserva con este proveedor, por lo que se determina continuar con esta marca de compresores. A su vez, se sugiere el uso de tecnologías de ahorro energético en la generación de aire comprimido. El esquema de costos de un compresor, se puede ver en la figura 19 a continuación.

Figura 19. Costos del aire comprimido.



Folleto Atlas Copco – SOFASA.

El acondicionamiento del aire comprimido una vez realizado su paso por el compresor debe ser considerado, pues se pretende también tener aire seco para evitar problemas de calidad y de humedad en el sistema.

El anexo C presenta la cotización actualizada del compresor Atlas Copco referencia ZR110 a 8,6 bares, el cual cumple con las especificaciones técnicas necesarias para cumplir con la tarea propuesta. Adicionalmente, en el anexo D se presenta la cotización de una torre de enfriamiento, necesaria para disminuir la temperatura del aire comprimido, sin necesidad de emplear aceite refrigerante para este fin. Finalmente se presenta en el anexo E la cotización actualizada de un secador marca Atlas Copco referencia FD380, el cual cumple con las condiciones requeridas.

La tabla 23 mostrada a continuación especifica el costo de operación del compresor propuesto.

Tabla 23. Costo de operación compresor ZR110-8,6

<b>Compresor</b>	<b>Caudal Nominal [cfm]</b>	<b>Potencia [kW]</b>	<b>Costo Producción [\$/cfm]</b>
Atlas Copco - ZR110	679	111,85	\$ 333,95

Catálogo Atlas Copco.

Las características del compresor se muestran en la tabla 24.

Tabla 24. Características técnicas básicas secador propuesto.

	<b>Capacidad [scfm]</b>	<b>Tipo Refrigerante</b>	<b>Presión Máxima Efectiva [psig]</b>
Atlas Copco FD380	981,00	R404A	210

Catálogo Atlas Copco

El cuadro resumen del costo de los equipos necesarios se presenta a continuación en la tabla 25.

Tabla 25. Costo de los equipos requeridos en piezas plásticas.

<b>TRM</b>				<b>\$ 1.790</b>
<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Referencia</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo Total</b>
Compresor	Atlas Copco	ZR110-8,6	111.000 USD	\$ 198.690.000
Secador	Atlas Copco	FD380	16.500 USD	\$ 29.535.000
Torre de enfriamiento	Glaciar	AMV-015	\$ 3.950.000,00	\$ 3.950.000,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 232.175.000</b>
<b>IVA</b>				<b>\$ 37.148.000</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 269.323.000</b>

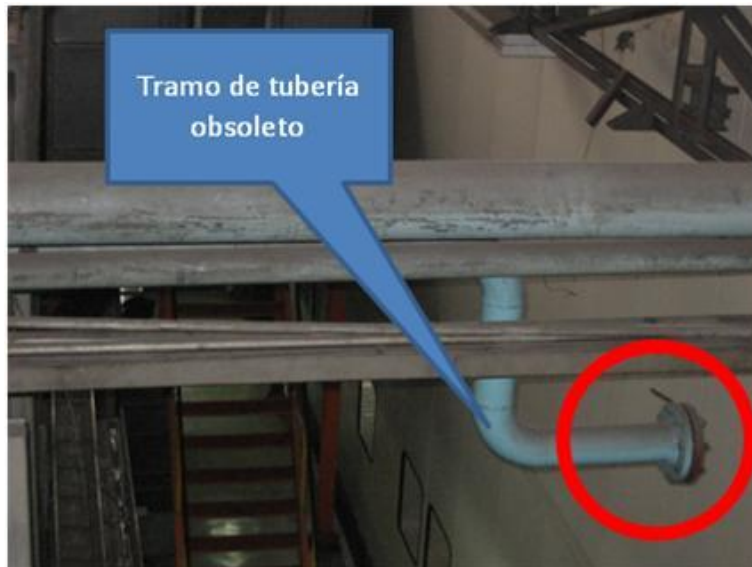
Cotizaciones Proveedores (Atlas Copco – Glaciar)

### 3.3.5 Tramos Obsoletos (Fuera de Servicio)

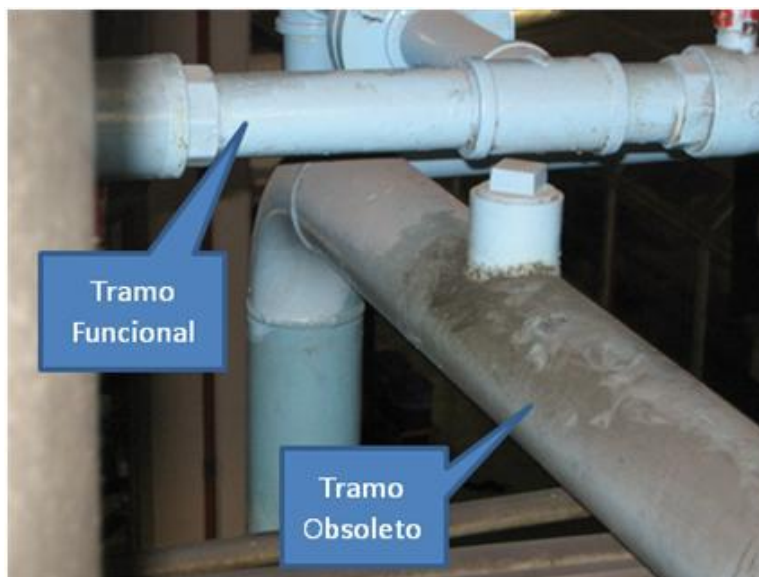
La gran flexibilidad de los procesos al interior de la compañía ha ocasionado que algunos tramos de la red neumática actual se encuentren fuera de servicio. Estos tramos aumentan la caída de presión en el sistema al aumentar las distancias que recorre el aire comprimido, están más expuestos a sufrir daños y generar indisponibilidad en la red neumática completa, dificultan en gran medida la identificación de sectores de afectación y aumentan la complejidad de la red. Adicionalmente, se cuenta en ellos con materiales que pueden ser aprovechados efectivamente en nuevas instalaciones o modificaciones necesarias, una vez se les realice un mantenimiento apropiado, se clasifiquen y se inventaríen apropiadamente.

Las fotografías 9 y 10 mostradas a continuación, evidencian la existencia de estos tramos de tubería obsoletos, así como la complejidad para la identificación de redes aún funcionales dentro del circuito neumático principal.

Fotografía 9. Tramo obsoleto sobre cabina de aplicación de esmaltes.



Fotografía 10. Complejidad para la identificación de tramos obsoletos.



La actualización de equipos genera también que algunos accesorios que son empleados en las redes neumáticas dejen de ser funcionales en las líneas de

producción. Este es el caso de la línea de montaje 1 Toyota, en el taller de ensamble. En este proceso se empleaban herramientas neumáticas para realizar los trabajos de ensamble de componentes al interior de las cabinas de los vehículos. Estas herramientas requieren unidades de mantenimiento (filtro-regulador-lubricador) que garanticen la vida útil de estos equipos. Actualmente, estas herramientas han sido reemplazadas por equipos eléctricos, por la facilidad en su manejo, y costo de operación, pero en las líneas de ensamble aún permanecen cerca de 30 unidades de mantenimiento instaladas. En la fotografía 11 se puede apreciar este hecho.

Fotografía 11. Unidades de mantenimiento fuera de servicio.



Los tramos y accesorios obsoletos pueden ser empleados como materiales para la adecuación de la red actual según el diagrama propuesto, reduciendo así el costo de la instalación, y realizando de igual forma, una higiene de la red neumática principal, favoreciendo de esta manera la simplificación de la red de aire comprimido al interior del salón de producción.

### 3.3.6 Fugas.

Las fugas de aire comprimido representan un gran porcentaje de los problemas de indisponibilidad de la red por baja presión y escaso volumen de aire en los talleres de producción, pues el consumo que hacen de estas variables de operación en un taller en particular, afecta la disponibilidad de toda la red neumática.

El impacto económico de este tipo de fallas se debe medir desde dos aspectos: desde el punto de vista técnico directamente relacionado con los equipos de generación de aire comprimido, y desde la consideración de la afección a los programas de producción, vistos en el capítulo 0.

El cálculo del impacto económico desde el punto de vista técnico comienza con la clasificación del tipo de fuga que se encuentra, y estará dada por el tamaño de la fuga, los cuales permiten el paso de una cantidad de aire u otra. Para determinar estas fugas se emplean equipos de ultrasonido, los cuales miden el nivel de ruido generado por el aire al pasar por un agujero a una presión determinada, lo que origina un cambio de un flujo laminar presurizado a flujos turbulentos de baja presión (COMPRESSED AIR @, 2008). Estos equipos miden la intensidad del sonido producido por la fuga de aire comprimido, y dependiendo de los decibeles detectados producto de estas fugas, clasifican el tipo de esta.

Las mediciones realizadas en 2007 en el taller de soldadura por la firma Ingeneumática, permite clasificar las fugas detectadas en las tres categorías mostradas a continuación en la tabla 26.

Tabla 26. Clasificación de las fugas detectadas en el taller de Soldadura – SOFASA 2007.

<i>Clasificación</i>	<i>Tamaño de Fuga</i>	<i>Cantidad Detectada</i>
A	0,3 mm	4
B	0,5 mm	55
C	0,7 mm	44

Ingeneumática – SOFASA 2007

El caudal de la fuga se calcula para cada una de las clasificaciones, a 90psig, la cual es la presión de trabajo en el taller. Así se obtienen los siguientes valores, tabladados a continuación en la tabla 27.

Tabla 27. Caudales para cada clasificación de fuga.

<i>Clasificación</i>	<i>Cantidad Detectada</i>	<i>Caudal unitario [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Caudal total [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Caudal total [cfm]</i>
A	4	0,202	<b>0,808</b>	<b>0,48</b>
B	55	0,568	<b>31,24</b>	<b>18,39</b>
C	44	1,123	<b>49,412</b>	<b>29,08</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>47,95</b>

Ingeneumática – SOFASA 2007.

Los anteriores datos se emplean para calcular el consumo de potencia eléctrica para cada uno de los tres compresores instalados actualmente en la planta, y se presentan a continuación en la tabla 28.

Tabla 28. Consumo eléctrico por fugas en Soldadura 2007.

<i>Compresor</i>	<i>Relación Potencia-Volumen [kWmin/ft3]</i>	<i>Caudal [cfm]</i>	<i>Consumo Eléctrico [kW]</i>
Atlas Copco - GA75-100	0,1616	47,95	7,75
Atlas Copco - ZR5	0,1471	47,95	7,05
Atlas Copco - ZR400	0,1687	47,95	8,09

Ingeneumática – SOFASA 2007

Los datos tabulados en la tabla anterior, sirven para determinar el costo de una fuga dependiendo del compresor que esté trabajando en el momento, conociendo el costo del kilovatio por hora de energía eléctrica. Actualmente, el compresor principal es el ZR400, el cual tiene un mayor consumo a causa de las fugas en la red neumática. A modo de ejemplo se calculará el costo en el año de las fugas detectadas en soldadura, suponiendo una utilización del compresor principal en un 80% y del ZR5 como respaldo, con un porcentaje de utilización del 30%. El GA75 se trabajará con un porcentaje de utilización del 20%. Adicionalmente se supondrán 350 días de operación continua, 24 horas al día. Los resultados se pueden ver a continuación en la tabla 29.

Tabla 29. Costo anual fugas en Soldadura.

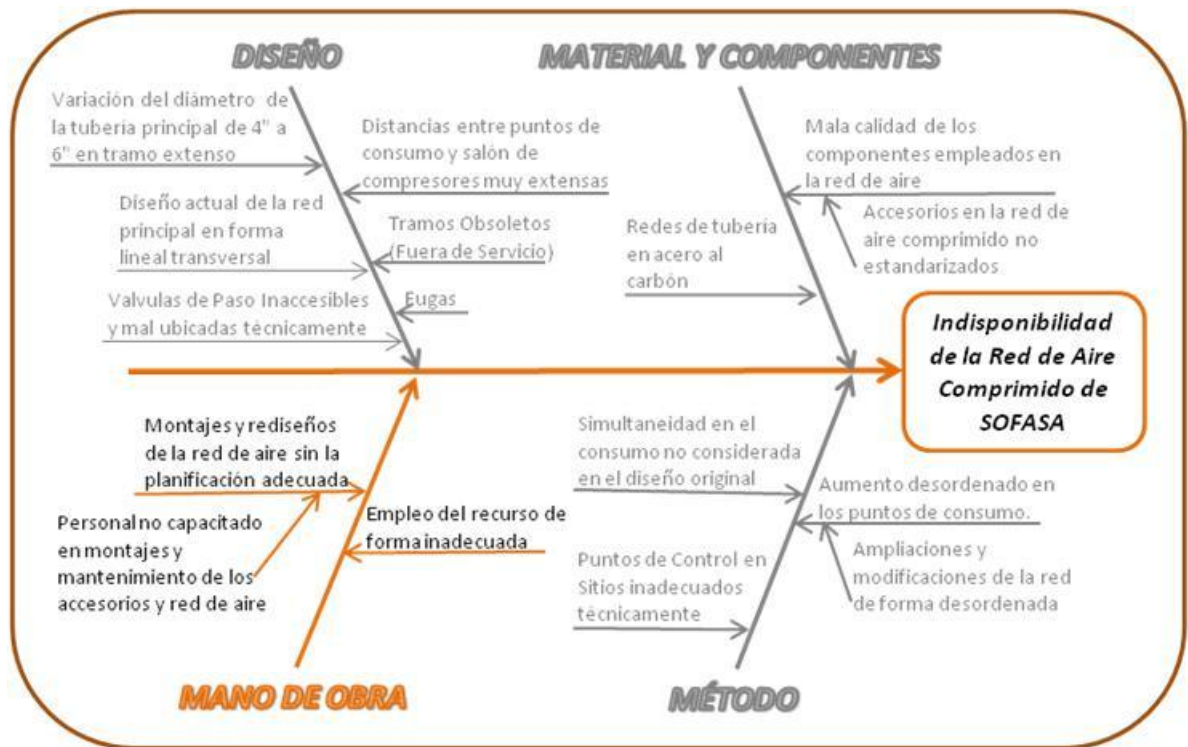
<i>Costo Energía Eléctrica Promedio 2007 [\$/kWh]</i>				
		\$	179,14	
<i>Compresor</i>	<i>Consumo Eléctrico [kW]</i>	<i>Horas efectivas de Trabajo</i>	<i>Consumo [kWh]</i>	<i>Costo Anual Fugas Soldadura</i>
Atlas Copco - GA75-100	7,7505	1680	13020,9	<b>\$ 2.332.592</b>
Atlas Copco - ZR5	7,0515	2520	17769,7	<b>\$ 3.183.302</b>
Atlas Copco - ZR400	8,0897	6720	54362,5	<b>\$ 9.738.617</b>

Ingeneumática – SOFASA 2007.

### 3.4 CATEGORÍA MANO DE OBRA

La categoría de causas correspondiente a la Mano de Obra que pueden afectar la disponibilidad del recurso del aire comprimido, según lo construido en el diagrama de causa-efecto de Ishikawa, tiene dos ramas fundamentales. El empleo del recurso de forma inadecuada, y la capacitación del personal que realiza los diseños montajes en la red. Estas causas se pueden apreciar en la figura 20 a continuación.

Figura 20. Categoría de causas Mano de Obra



El análisis y desarrollo de estas causas se realiza siguiendo el procedimiento trabajado para las anteriores categorías.

#### 3.4.1 Personal no capacitado en montajes y mantenimiento de los accesorios de la red

La responsabilidad de determinar la necesidad de nuevas instalaciones, equipos y herramientas corresponde al área de fabricación de la compañía, la cual, conociendo los volúmenes necesarios para cada periodo de producción, define los recursos necesarios. La división de mantenimiento de SOFASA realiza un acompañamiento en los proyectos industriales de envergadura importante en la compañía de manera directa, dedicando a un ingeniero responsable de mantenimiento al proyecto. Esta persona debe guiarse por el dossier de TPM en proyectos, donde se establecen las pautas de diseño y recomendaciones técnicas que deben cumplir los equipos e instalaciones que se entregarán a la compañía una vez concluido el proyecto.

Las modificaciones y adiciones de equipos de menor impacto son realizadas por grupos interdisciplinarios de trabajo (división de proyectos, división de fabricación, dirección de calidad), los cuales cuentan con asesoría del personal de mantenimiento de forma puntual. La manera como la división de mantenimiento se asegura que los estándares de calidad de los equipos y de las instalaciones modificadas, o adicionadas por los proyectos industriales o los grupos interdisciplinarios, es mediante el procedimiento de recepción de equipos e instalaciones.

La amplia participación del personal operativo e ingenieros en los grupos interdisciplinarios, mediante sistemas de participación activa (kaizen), hace técnica y económicamente inviable la preparación de todo el personal en temas técnicos. Para combatir esta causa de indisponibilidad del sistema, la división de mantenimiento procura ser estricta al momento de recibir una instalación o equipo, basándose en el procedimiento antes mencionado.

La forma práctica de desarrollar instalaciones de equipos y herramientas neumáticas de forma efectiva es la remisión del personal implicado en las modificaciones a dos documentos conocidos: el listado de equipos recomendados por Renault (tratado en el capítulo 3.1.2) y a los propios catálogos del fabricante del equipo, en ese orden. Esto asegura que los equipos cumplan con los requisitos de trabajo apropiados para desempeñar su tarea correctamente, y las condiciones de operación no deriven en desgaste acelerado de estos.

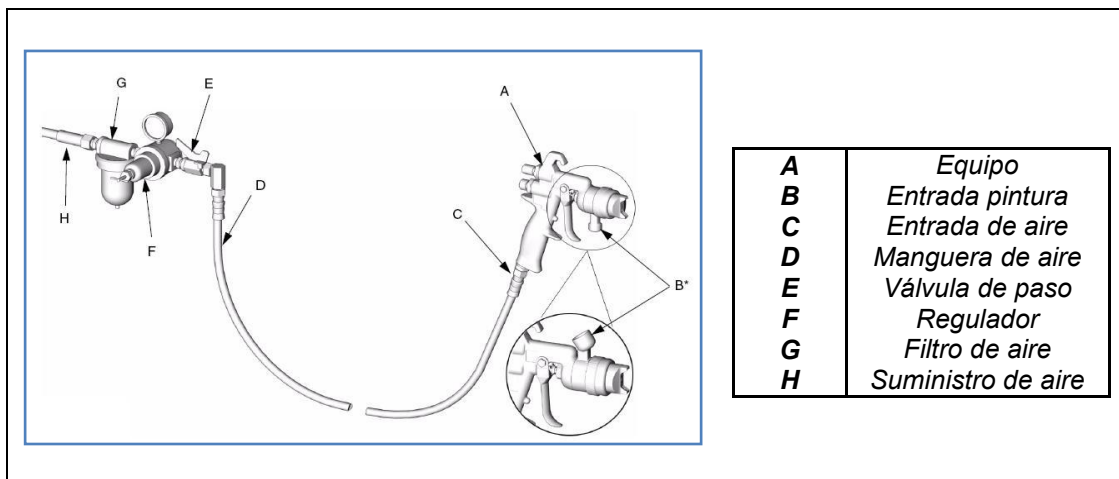
Una revisión realizada al procedimiento de recepción de equipos en el capítulo 3.1.2, da como resultado el aseguramiento del empleo del listado de equipos recomendados por Renault, tal como se señaló en la figura 6 del mismo capítulo. Así mismo, con el fin de asegurar una correcta instalación de los equipos y herramientas, se revisa nuevamente el formato SC 53001, y se propone la modificación consistente en agregar un campo para puntualizar el diagrama de instalación típica dentro de las características neumáticas del equipo o instalación, según la recomendación del fabricante. Esta adición se señala claramente en la figura 21 a continuación.

Figura 21. Propuesta de modificación al procedimiento de recepción de equipos.

CARACTERÍSTICAS NEUMÁTICAS	VALOR	OK	NO OK	COMENTARIOS
Presión				
Caudal				
DIAGRAMA INSTALACIÓN NEUMÁTICA RECOMENDADA		OK	NO OK	COMENTARIOS
CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN				
Presión				
Caudal				
Depósito				

Los diagramas de instalaciones neumáticas típicas para cada herramienta o equipo son establecidos por el propio fabricante de los equipos y herramientas. A forma de ilustración en la figura 22 se muestra una pistola de aplicación de pintura HVLP marca Graco.

Figura 22. Instalación típica Pistola HVLP Graco.



Catalogo Graco 310-692

### 3.4.2 Empleo del recurso en forma inadecuada

Las actividades de mantenimiento de algunos equipos exigen la limpieza e inspección diaria de estos. En el departamento de soldadura, las matrices que aseguran la geometría de la cabina al momento de su ensamble, requieren ser limpiadas por el operario una vez concluida su jornada de trabajo. Para esto, muchos de los trabajadores hacen uso de sopladores de aire, los cuales a pesar de simplificar el trabajo de limpieza, no hacen más que desplazar la suciedad de un punto a otro, y significa un gasto importante del recurso. A modo de ejemplo, se calcula el gasto de aire comprimido, teniendo en cuenta la presión de trabajo de la planta (100psi) y el diámetro promedio de estos, el cual está alrededor de 5mm. Este gasto se tabula en la tabla 30 mostrada a continuación.

Tabla 30. Gasto de aire comprimido [cfm] para sopladores de aire.

<b>Gasto cfm</b>		
<b>Diametro del orificio en mm</b>	<b>Presion efectiva en Bares</b>	
	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	40,6	45,9
<b>5</b>	<b>63,6</b>	71,7
<b>6</b>	91,8	103,1

CARNICER, 1977, p212.

El consumo de aire de un soplador de aire es superior incluso que los sistemas de bombeo que más consumen en la planta de producción. Este consumo se puede expresar de igual manera en pesos, suponiendo el uso del soplador por 5 minutos. Según se vio en la tabla 5, se conoce el costo de producción de cada uno de los compresores instalados en la planta de SOFASA, y con el gasto de aire encontrado en la tabla 30, arriba señalada se determina el costo económico de emplear un soplador durante 5 min, según se muestra en la tabla 31 a continuación.

Tabla 31. Costo de empleo de sopladores (5 minutos)

<b>Compresor</b>	<b>Costo Producción [\$/cfm]</b>	<b>Costo Sopladores</b>
Atlas Copco - GA75-100	\$ 223,93	\$ 14.241,79
Atlas Copco - ZR5	\$ 746,43	\$ 47.472,64
Atlas Copco - ZR400	\$ 1.113,22	\$ 70.800,70

#### 4 PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

El diagnóstico realizado en los capítulos anteriores, permiten construir un plan de acción acorde, el cual plantea algunas acciones a realizar, que en caso de un cumplimiento acorde a lo planeado, permitirán reducir los problemas de indisponibilidad de la red de aire comprimido de SOFASA, y preparar adecuadamente este sistema para futuras ampliaciones y modificaciones. De igual forma como se desarrolló el análisis se hará la propuesta de contramedidas, identificando la categoría de causas de la cual derivan los problemas hallados, la contramedida recomendada y el responsable. De igual forma se propondrá un periodo de tiempo para su desarrollo, el cual será factible cumplir según las prioridades establecidas por la división de mantenimiento de SOFASA. En la figura 23 mostrada a continuación, se aprecia el plan de acción propuesto para la categoría de causas Material y Componentes.

Figura 23. Plan de acción propuesto grupo de causas Material y Componentes.

Categoría de Causas - Causa		Contramedida Propuesta	Responsable
MATERIAL Y COMPONENTES	Tubería de la red de aire en acero al carbón	Generación de PMP para Red de Aire Comprimido que garantice la inspección periódica de la red, limpieza y pintura.	Staff Fluidos
		Revisar y acondicionar purgas automáticas para la eliminación de la humedad en el sistema	División de Mantenimiento
	Accesorios en la red de aire no estandarizados	Estandarización de materiales y accesorios para nuevas instalaciones, incluida en el dossier TPM en proyectos	RG Mantenimiento Proyectos Staff TPM División de Mantenimiento
		Estandarización de referencias y marcas de equipos para componentes de la red de aire comprimido, según el listado de materiales recomendados por Renault.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
			Staff Mantenimiento Almacén PHF
		Actualización del formato de recepción de equipos e instalaciones que incluya revisión sobre repuestos recomendados por Renault	Staff TPM División de Mantenimiento
Identificación de componentes fuera del estándar y reemplazo.	RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble)		

El grupo de causas derivadas del método también presenta algunas acciones a realizar, las cuales se muestran a continuación en la figura 24.

Figura 24. Plan de acción propuesto grupo de causas Método.

Categoría de Causas - Causa		Contramedida Propuesta	Responsable
METODO	Simultaneidad en el consumo no considerada en el diseño original	Identificación y delimitación de zonas de consumo	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Estudio de consumo por zonas y subzonas	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Actualización del listado de equipos neumáticos	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Ampliaciones y modificaciones de la red de forma desordenada	Levantamiento de planos e información actualizada.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Puntos de control en sitios inadecuados técnicamente	Identificación de puntos de control representativos	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Ubicación de elementos de control representativos	Staff Fluidos División de Mantenimiento
Modificación del diseño de la red de aire comprimido, simplificándolo		Staff Fluidos División de Mantenimiento	

La categoría de causas debidas al diseño es una de las más amplias y complejas. En la figura 25 se presenta el plan de acción propuesto para éstas.

Figura 25. Plan de acción propuesto grupo de causas Diseño.

Categoría de Causas - Causa		Contramedida Propuesta	Responsable
DISEÑO	Variación del diámetro de la tubería principal de 4" a 6" en tramo extenso	Estandarización de diámetros de tubería en la red de aire comprimido principal.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Diseño actual de la red principal en forma lineal transversal	Evaluación del rediseño de la red según la propuesta presentada.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Válvulas de paso inaccesibles y mal ubicadas técnicamente	Reubicación de Válvulas, asegurando accesibilidad para mantenimiento.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Identificación visual de cada Válvula con su zona de afectación.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Distancias entre puntos de consumo y salón de compresores muy extensas.	Adquisición de un compresor de aire libre de aceite para el taller de piezas plásticas e Ingeniería (Atlas Copco ZR110)	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Tramos Obsoletos (Fuera de Servicio)	Higiene de la red neumática principal, identificando tramos y elementos obsoletos (fuera de servicio) y eliminándolos.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Identificación de accesorios y complementos de la tubería de transporte de aire comprimido fuera de servicio y eliminarlos.	RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble)
Fugas	Programa de identificación y corrección de fugas en redes y uniones en cada uno de los puesto de trabajo.	RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble)	
	Diseño de plan de seguimiento con proveedor especializado para identificación de fugas no detectables por operarios.	Staff Fluidos División de Mantenimiento	

La última categoría de causas considerada es la correspondiente a mano de obra. El plan de acción propuesto para dar solución a las causas allí encontradas se presenta a continuación en la figura 26.

Figura 26. Plan de acción propuesto grupo de causas Mano de Obra.

	Categoría de Causas - Causa	Contramedida Propuesta	Responsable
MANO DE OBRA	Personal no capacitado en montajes y mantenimiento de los accesorios y red de aire.	Complementación de procedimiento de recepción de equipos con el diagrama de la Instalación neumática típica correspondiente.	Staff TPM División de Mantenimiento
		Publicación del procedimiento actualizado. Divulgación a los usuarios interesados.	Staff TPM División de Mantenimiento
	Empleo del recurso de forma inadecuada.	Campaña para identificación y corrección de malas prácticas con aire comprimido	Staff TPM División de Mantenimiento

La presentación del plan de acción más detallado se presenta en el anexo E, en donde se incluyen los periodos propuestos para su desarrollo.

## 5 CONCLUSIONES

- La competencia en el mercado automotriz obliga a las empresas ensambladoras colombianas a asegurar procesos productivos confiables y rentables, características dadas por la confiabilidad y disponibilidad de los equipos que hacen posible la fabricación, pues cualquier desviación de las condiciones de producción establecidas, generan pérdidas de producción, y sobrecostos.
- La necesidad técnica de equipos e instalaciones en la industria debe considerar los requerimientos actuales de producción, así como las tendencias de crecimiento de la demanda de vehículos en la región andina. Se deben proyectar equipos e instalaciones que permitan una flexibilidad de la oferta para así atender el mercado. Dentro de estas instalaciones se debe considerar la gran importancia de la red neumática principal de SOFASA, pues de ella dependen gran cantidad de equipos de producción, siendo uno de los ejes de crecimiento de la compañía de más atención.
- En las consideraciones de diseño e implementación de nuevos equipos e instalaciones, se debe prestar igual atención al diseño y planificación del mantenimiento de estos en los puestos de trabajo, pues es en estos puntos donde el recurso se utiliza y donde se puede lograr optimizar el empleo de este. Es en los puestos de trabajo donde una correcta utilización de los recursos, y un cuidado especial en el diseño, instalación y mantenimiento, permitirán a la empresa reducir costos de operación, a la vez que se logra obtener ahorros importantes al aprovechar de manera correcta los medios disponibles para la producción.

- El correcto funcionamiento de instalaciones y sistemas no sólo depende de un correcto mantenimiento de estas, sino de la conservación de las condiciones de trabajo y diseño originales, pues son las modificaciones técnicamente no estudiadas las que ocasionan mayores impactos en la indisponibilidad de la red de aire comprimido principal de SOFASA.
- Las modificaciones realizadas a la red de aire comprimido en las instalaciones de producción de SOFASA han ocasionado que actualmente se encuentren tramos fuera de servicio, los cuales pueden ser reutilizados una vez se hayan adecuado, reduciendo significativamente así los costos de adecuación de la red neumática actual a las condiciones actuales de producción, así como a los futuros proyectos de crecimiento de la planta.
- El crecimiento industrial debe estar soportado inicialmente en la capacidad técnica de las instalaciones de soportar las nuevas exigencias de producción, para lo cual se debe tener claro cuál es la capacidad actual instalada y la demanda real que se hace de esta. La información obtenida de estos estudios debe conservarse actualizada con el fin de facilitar el cálculo de factibilidad de nuevos proyectos y crecimiento industrial. Así mismo se debe tener presente al momento de estimar la capacidad de las redes de soporte, en especial la red neumática principal, de ser capaces de un crecimiento industrial, los nuevos equipos de producción y la mano de obra adicional que demandarán este fluido para el desarrollo normal de sus actividades, con el fin de calcular la afectación real prevista bajo las nuevas condiciones.
- La situación actual de la red neumática principal exige que se intervenga de manera efectiva sobre esta para evitar más pérdida de producción por causa de la indisponibilidad. Esta intervención es principalmente una identificación y organización de la red de aire comprimido, lo cual no requiere mayores

inversiones económicas, siendo la adecuación de tramos fuera de servicio la mejor opción para realizar esto.

- La separación de los aires del salón de producción del taller de piezas plásticas es una opción técnicamente viable, lo que permitirá reducir significativamente las distancias de transporte de aire comprimido y de esta manera las pérdidas de presión se reducirán igualmente. Así mismo, la carga sobre los compresores del salón de producción se reducirá, permitiendo tener realmente un sistema de stand-by funcional que garantice la disponibilidad del sistema.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

### 6.1 BIBLIOGRAFÍA CLÁSICA

ARISTIZABAL RESTREPO, Sergio. Curso de extensión Neumática Industrial. Principios y aplicaciones. Memorias. Medellín: Universidad EAFIT, 1988

CARNICER ROYO, E. Aire Comprimido. Teoría y Cálculo de las Instalaciones. Barcelona. Gustavo Pili S.A. 1977. ISBN: 84-252-0662--6

CHADID SIERRA, Juan Carlos. "Diseño de Redes de Aire Comprimido". Medellín. 1988, 152p. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

LANDIS, Scott. The Workshop book: a craftsman's guide to making the most of any work space. Estados Unidos de América: Taunton Press, 1998. ISBN 09-423-9137-3

LEVY, Sydney M. MEP Databook. Estados Unidos de América: McGraw-Hill Professional, 2000. ISBN 00-713-6020-4

LÜTTGENS, Günter y WILSON, Norman. Electrostatic Hazards. Estados Unidos de América: Butterworth-Heinemann, 1997. ISBN 07-506-2782-4.

VELASQUEZ R., Juan Guillermo. "Propuesta de diseño para un sistema de empaçado para pollos enteros en Friko planta Norte y rediseño de la red de aire comprimido". Medellín. 1996, 108p. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica

VAN DIJEN, F. S. G. "Mecanización Neumática". Zaragoza. Distresa S.A. 1982. ISBN: 84-7087-197-8

## 6.2 INTERNET

### COMPRESSED AIR@

Página con información de equipos y accesorios para redes neumáticas [en línea] [Citado Marzo 2008]. Disponible en Internet.

<http://www.ecompressedair.com/accessories/leakdetector.shtml>

### MINTRANS@

Página del Ministerio de Transportes de Colombia [En línea] [Citado Noviembre 2007] Disponible en Internet.

<http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas/home.htm>

### MONOG@

Página con Generalidades y Elementos Constitutivos de una red de aire comprimido [En línea] [Citado: Octubre 2007] Disponible en Internet.

<http://www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire/redes-de-aire.shtml>

### PFC@

Página con generalidades y clasificación de compresores.[En línea] [Citado: Noviembre 2007] Disponible en Internet.

<http://www.proyectosfindecarrera.com/tipos-compresores.htm>

### PREVOST@

Página principal de proveedor de sistemas de transporte de aire comprimido en aleación de PVC [En línea] [Citado: Febrero 2008] Disponible en Internet.

<http://www.prevost.eu/>

### SOFASA@

Página Principal de SOFASA [En línea] [Citado Octubre 2007]. Disponible en Internet.

<http://www.sofasa.com.co/sofasa/Default.aspx>

### SOLOMTTO@




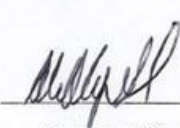
Portal de Mantenimiento industrial [En línea] [Citado Febrero 2008] Disponible en Internet.

<http://www.solomantenimiento.com/diccionario.htm>

ANEXO A. Procedimiento para la aceptación de equipos e instalaciones –  
SOFASA – Versión Actual.

SOFASA	VALIDACIÓN Y RECEPCIÓN DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN			
VEHÍCULO Y/O PROYECTO:	OPERACIÓN:			FECHA
NOMBRE DEL BIEN O EQUIPO:				
CRITERIOS DE RECEPCIÓN	OK	NO OK	NO APLICA	COMENTARIOS
Instrucciones de utilización				
Hoja de vida del equipo diligenciada (ver registro R-X01-SC 53002-)				
Instrucciones de mantenimiento, calibración, etc. (PMP, ver registro R-X03-SC53002-)				
Planos Civiles de implantación				
Planos Eléctricos:				
Planos Neumáticos				
Planos de automatización				
Planos de Sistemas, subconjuntos y elementos				
Planos de Redes de Fluidos (agua, aire, gas)				
Software de programación.				
Listado de piezas de recambio y entrega física.				
Entrenamiento para la utilización, mantenimiento y calibración.				
Acta de conformidad de seguridad diligenciada y aprobada (Ver Anexo SOGA Lista de Verificación Equipos)				
<b>MEDIDAS</b>				
<b>MEDIDAS L*A*A</b>				
<b>PESO</b>				
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	VALOR	OK	NO OK	COMENTARIOS
Voltaje.				
Corriente.				
Fases.				
Frecuencia.				
Potencia				
CARACTERÍSTICAS NEUMÁTICAS	VALOR	OK	NO OK	COMENTARIOS
Presión				
Caudal				
<b>CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN</b>				
Presión				
Caudal				
Depósito				
<b>DECISIONES DE ACEPTACIÓN</b>	NOMBRE _____	NOMBRE _____	NOMBRE _____	NOMBRE _____
	MANTENIMIENTO	CALIDAD	SOGA	FABRICACIÓN
	ACEPTADO   RECHAZADO	ACEPTADO   RECHAZADO	ACEPTADO   RECHAZADO	ACEPTADO   RECHAZADO

ANEXO B. Carta Contrato SOFASA – Ingeneumática para el estudio de consumos en Piezas Plásticas.

 <b>SOFASA</b> <small>INDUSTRIAS Y SERVICIOS S.A.</small>				<h2>Carta Contrato</h2>	
Fecha: 04.02.2008		Consecutivo: 4600008973 <span style="color: purple; font-weight: bold;">MITO-007-08</span>			
Proveedor / Contratista: INGE NEUMATICA		NIT: 811022060			
Dirección: CIRCULAR 1RA. NO 73-98 MEDELLIN ANTIOQUIA Colombia					
<b>OBJETO:</b> Servicio de Medición de consumo de Aire Comprimido en el Taller de Piezas Plásticas. Solicitado por: Javier Facundo CC:503180000 Cta:734515000					
La cotización y/o condiciones de oferta No 1200040 presentada por el Contratista/Proveedor a Sofasa con fecha de 28.01.2008, así como la solicitud de cotización emitida por Sofasa, y la propuesta negociada hacen parte integral de esta Carta Contrato.					
PRECIO: 1.500.000 COP antes de IVA					
Forma de Pago: 30 días después de fecha de la factura					
El pago se hará 30 (treinta) días contados a partir de la fecha en que SOFASA reciba el original de la factura correspondiente, así como del soporte y documentación necesaria que ampare dicha factura. Los pagos están sujetos a la presentación y aprobación de la(s) póliza(s) pactada(s), y a la aprobación por parte de SOFASA de cada factura. Sin esta aprobación, la factura o la cuenta de cobro entregada en SOFASA, no constituirá obligación a cargo de SOFASA.					
Vigencia: Desde: 04.02.2008 Hasta: 19.03.2008					
SOFASA podrá dar por terminado este acuerdo unilateralmente, previo aviso escrito, con diez (10) días de anticipación, sin que haya lugar a indemnización de ninguna especie.					
Polizas:					
Elaborado por: Javier Andres Facundo Payome					
Área: GRUPO MITO PINTURA TUR					
Aceptan:					
Firma:					
Nombre:		Luis Eduardo Hernández Cobaleda		Alexis Angel Osorio	
Razón Social:		Director/Gerente SOFASA		Contratista/Proveedor INGE NEUMATICA	
Ver Condiciones Especiales y normas de Salud Ocupacional y Gestión Ambiental, al reverso.					

ANEXO C. Cotización Compresor marca Atlas Copco referencia ZR110-8,6.



Señor  
**JAVIER FACUNDO**  
jfacundo@eafit.edu.co  
Medellín

Ref : **Oferta Compresor**

O.F.2677

Med, 08-04-17

Apreciados Señores

En atención a su amable solicitud tenemos el agrado de presentar para su estudio y consideración, nuestra mejor propuesta de solución para satisfacer su demanda de cantidad y calidad de aire comprimido **Exento de Aceite** con el siguiente equipo **Sueco** marca **ATLAS COPCO**, así :

Compresor	Potencia	Regulación
<b>ZR 110-8,6</b>	<b>150 hp</b>	<b>Velocidad Fija</b>

En nombre de **ATLAS COPCO**, agradezco su interés en los productos que representamos y respaldamos como única subsidiaria que en Colombia vende y presta servicio a sus propias unidades.

Esperamos que en la presente encuentren la alternativa que mejor se ajuste a sus expectativas de confiabilidad y economía y así tener la oportunidad de demostrarles la superior calidad de nuestros equipos y servicios.

Cordialmente,

**ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA,**

Ing. Carlos Ramírez  
Celular 310-299-12-65  
E mail : carlos.ramirez@co.atlascopco.com  
Tel : ( 4 ) 331-10-00  
Fax : ( 4 ) 331-00-34

PAGINA No.2  
ATN. ING. JAVIER FACUNDO  
OFERTA No.2677  
MEDELLÍN, ABRIL 17 DE 2008

#### DESCRIPCION GENERAL DE LOS COMPRESORES TIPO ZR

- Compresores de aire estacionarios, marca ATLAS COPCO, tipo rotativos secos, de dos ( 2 ) etapas compresoras de tornillo rotativo **No lubricado** para entrega de aire totalmente exento de aceite y sin pulsaciones.
- Unidad completa con motor de alta eficiencia, protegido contra ambientes severos. Su protección IP 55 ( TEFC ) y aislamiento clase F garantiza una completa protección contra atmósferas polvorientas y/o húmedas. Acoplado directamente al compresor con flanche tipo E, lo que garantiza una alineación permanente aún después del transporte o cuando se ha sometido el motor y/o el compresor a mantenimiento donde se requiera desacoplar.
- **Arrancador estrella-triángulo** a 220 o 440 Voltios, 3f / 60 Hz, lo que garantiza bajo consumo de corriente en el arranque.
- Sistema de filtración de aire tipo seco completamente integrado, **99.5% de eficiencia** en partículas mayores o iguales a un ( 1 ) micrón, de fácil mantenimiento, utilización de filtros estándar , indicador de la caída de presión del filtro. Todo el circuito de aire, cuando no es de acero inoxidable, es perfectamente protegido internamente por galvanización o pintura epóxica.
- Sistema de regulación carga / descarga para mayor economía en la operación. El compresor trabajando en descarga consume únicamente el **17 %** de la potencia a plena carga, no hay compresión innecesaria de aire ni pérdida de éste al ambiente, ni estrangulación en la admisión que incremente las pérdidas.
- Sistema de refrigeración húmedo ( **agua** ) para el elemento compresor lo que garantiza una alta eficiencia y una larga vida de los elementos rodantes
- Enfriador de aceite, inter-enfriador y post-enfriador refrigerados por **agua**, lo que garantiza una excelente transferencia de calor.
- Sistema de lubricación con bomba de piñones de desplazamiento positivo, filtro de aceite, enfriador de aceite y cárter con indicador de nivel y sistema de respiradero del cárter para garantizar una completa limpieza de la máquina y evitar contaminaciones por vapores de aceite en el ambiente. El tipo de aceite utilizado es **sintético Roto Z**. El periodo de recambio es de 16.000 horas de operación.
- Los rotores tipo tornillo rotativo de los elementos de compresión, son protegidos con pintura a base de teflón y grafito para evitar que sean atacados por la humedad al estar parado el compresor. Van montados en rodamientos **extra-carga** de bolas y rodillos que permiten arranques y paradas repetidas sin ningún riesgo.

PAGINA No.3  
ATN. ING. JAVIER FACUNDO  
OFERTA No.2677  
MEDELLÍN, ABRIL 17 DE 2008

- El sistema pack incorpora absolutamente todos los elementos que constituyen el compresor en una **cabina antisonora** que aminora ostensiblemente el nivel de ruido. El sistema pack permite una rápida instalación, no necesita anclajes ni cimentaciones, ni conexiones externas de filtros silenciadores; únicamente un piso firme y capaz de soportar el peso del compresor.
  
- Amplias puertas de acceso facilitan las labores de mantenimiento. Alta calidad de diseño de los piñones **AGMA 13**.
  
- Sistema avanzado de control, regulación y monitorización del compresor.
  
- Instalación : las conexiones se limitan a las de toma de potencia eléctrica y red de aire comprimido estando concentradas en terminales accesibles y normalizados. La cubierta presenta ventanas de aireación y puertas de acceso desmontables.
  
- Panel de control **Elektronikon** totalmente electrónico y alfanumérico, en dos idiomas ( Inglés-Español ) donde se puede verificar :
  - **Funciones de servicio** : vida de aceite, vida filtro de aceite y vida filtro de aire, memorización de los datos de operación en el momento de un apagado por protección (en caso de ocurrir).
  
  - **Alarmas de seguridad**, sobrecarga motor principal , motor ventilador, alta temperatura de salida del elemento.
  
  - **Indicadores del estado operativo** : horas de marcha, horas de carga, funcionamiento automático, voltaje conectado, error de sensor, presión de descarga, temperatura de salida del elemento, número total de arranques del motor eléctrico.
  
  - **Controles de operación** : parada programada, carga y descarga manual, arranque manual, parada de emergencia, fecha y hora local, arranque y parada en día y hora programada de acuerdo a las necesidades de producción de aire, re arranque automático en caso de falla del fluido eléctrico (a programar).
  
- **Arrancador estrella-triángulo** para voltaje de 220 ó 440 V.
  
- Sistema electrónico de control "Elektronikon" que supervisa, controla, protege y memoriza los datos de operación del compresor.

**PAGINA No.4**  
**ATN. ING. JAVIER FACUNDO**  
**OFERTA No.2677**  
**MEDELLÍN, ABRIL 17 DE 2008**

El sistema tiene los siguientes datos :

#### **INDICADORES DE SERVICIO**

- Estado del filtro aceite
- Estado del filtro aire
- Nivel de aceite
- Vida del aceite
- Error en un sensor

#### **INDICADORES DE ALARMA/PARADA**

- Sobrecarga motor eléctrico
- Sobre temperatura de salida del elemento compresor
- Sobrepresión de salida del elemento compresor
- Parada de emergencia

#### **LECTURA DIGITALES**

- Presión del aire en la red
- Presión diferencial sobre el filtro de aire
- Temperatura del aire a la salida del compresor
- Temperatura del aire de refrigeración
- Temperatura de salida del elemento compresor
- Horas totales de marcha
- Horas totales de carga

#### **INDICADORES DE ESTADO**

- Presión de trabajo máxima
- Funcionamiento cargado
- Funcionamiento en vacío
- Energizado
- Operación automática
- Control remoto
- Parada programada
- Rearme/prueba

PAGINA No.5  
ATN. ING. JAVIER FACUNDO  
OFERTA No.2677  
MEDELLÍN, ABRIL 17 DE 2008

#### FUNCIONES REMOTAS

- Arranque
- Parada de emergencia
- Parada programada
- Carga
- Descarga
- Alarmas normales (las ya instaladas)

#### ESPECIFICACIONES TECNICAS COMPRESOR ZR 110-8,6

Marca	ATLAS COPCO
Tipo	Tomillo exento de aceite
Capacidad nominal	674 CFM
Máxima presión de trabajo	102 psig
Número de etapas	Dos ( 2 )
Refrigeración	Agua
Caudal de agua de refrigeración	1,7 l/s
Eficiencia filtro de admisión	99.5 % partículas $\geq 1$ micrón
Motor	Siemens
Potencia instalada	150 hp
Protección del motor	IP 55
Aislamiento del motor	Clase F
Arrancador	Estrella-triángulo
Nivel de presión de ruido	67 dB( A )
Capacidad de aceite	49 litros ( 13 Galones )
Tipo de aceite	Mineral ISO VG 68
Vida promedio del aceite	16.000 hrs
Temperatura de salida del aire aproximada	10° C por encima de la ambiente
Transmisión de potencia	Directo por acople flexible
Dimensiones ( Largo-Ancho-Alto ) en mm	2.540-1.850-2.000
Peso en kg	2.635

PAGINA No.6  
ATN. ING. JAVIER FACUNDO  
OFERTA No.2677  
MEDELLÍN, ABRIL 17 DE 2008

#### CONDICIONES COMERCIALES

EQUIPO	INVERSION LOCAL	INVERSION FOB
Compresor ZR 110-8,6	USD 111.000.00	USD 95.000.00

FORMA DE PAGO	
LOCAL MEDELLIN	Contado contra entrega. El dólar será liquidado de acuerdo a la TRM del día de pago más el IVA vigente.
FOB AMBERES	Carta de crédito irrevocable y pagadera a la vista contra presentación de documentos de embarque a nombre de Atlas Copco Airpower N.V, o giro directo a favor del mismo beneficiario.

TIEMPO DE ENTREGA	
LOCAL	Diez ( 10 ) semanas.
FOB	Seis ( 6 ) semanas.

LUGAR DE ENTREGA	
LOCAL	Sus instalaciones en Medellín
FOB	Puerto de embarque en Amberes Bélgica

#### FABRICANTE

ATLAS COPCO AIRPOWER N.V  
Oil Free Air Division  
P.O Box 103  
Boomesesteeweg 957  
2610 Wilfrijk  
Belgium

PAGINA No.7  
ATN. ING. JAVIER FACUNDO  
OFERTA No.2677  
MEDELLÍN, ABRIL 17 DE 2008

#### **GARANTIA**

A partir de la fecha de entrega o recepción del equipo, **ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA** ofrece cinco ( 5 ) años de garantía para las unidades compresoras previo acuerdo de un Convenio de Servicio y dos ( 2 ) años de garantía para el resto del compresor, como también se compromete a reparar toda anomalía y/o reemplazar todo elemento que falle por la calidad de los materiales y/o defectos en la mano de obra en el menor tiempo posible.

La garantía ampara el equipo en condiciones normales de operación y cuando se han cumplido los requerimientos para su instalación, manejo y mantenimiento.

**ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA**, no ampara bajo su garantía daños producidos por instalaciones defectuosas, baja calidad de aire de entrada, ambientes agresivos, accidentes, desastres, siniestros, fallas de energía eléctrica, mala operación de los equipos o daños causados por personal ajeno a **ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA**.

#### **RESPALDO TECNICO**

**ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA**, cuenta con un Departamento Técnico con alta trayectoria y experiencia que nos permite garantizarles mantenimiento y asesoría permanente de nuestro selecto grupo de Ingenieros y Técnicos especializados. Adicional a esto todos nuestros usuarios tienen acceso a nuestro "**CLUB DE USUARIOS**" que les brinda la oportunidad de obtener servicio técnico de emergencia los 365 días del año.

#### **INSTALACION**

El costo del equipo incluye la inspección del área física donde será instalado, así como la revisión y aprobación de la instalación eléctrica correspondiente.

El arranque y puesta a punto, así como la instrucción a su personal, en la operación y mantenimiento del equipo, también está contemplado dentro del precio de venta.

ANEXO D. Cotización torre de enfriamiento para compresor ZR110

**GLACIAR**  
Ingeniería Ltda.

**GLACIAR INGENIERIA LTDA.**  
Carrera 54 # 79 B Sur 35 La Estrella  
Teléfono: 309 09 48 / Fax: 279 76 84  
Nit 900.024.169-4  
E-MAIL: [ventas@glaciar.com.co](mailto:ventas@glaciar.com.co)  
[jfgomez@glaciar.com.co](mailto:jfgomez@glaciar.com.co)

TORRE DE ENFRIAMIENTO AMV-015



AMV 04-17-950



**GLACIAR INGENIERIA LTDA.**  
 Carrera 54 # 79 B Sur 35 La Estrella  
 Teléfono: 309 09 48 / Fax: 279 76 84  
 Nit 900.024.169-4  
 E-MAIL: ventas@glaciar.com.co  
 jgomez@glaciar.com.co

**SELECCIÓN TORRE DE ENFRIAMIENTO AMV-015**

**MEDELLIN**

Modelo de la torre:	AMV-015
Fecha:	17/4/2008

Parámetros de Diseño		Condiciones de Operación	
Temperatura de entrada del agua (°f):	100.00	Temperatura de entrada del agua (°f):	100.00
Temperatura de salida del agua (°f):	90.00	Temperatura de salida del agua (°f):	87.70
Caudal de Agua (GPM):	62.0	Rango (°f):	12.30
Caudal de aire (CFM):	4,500	Approach (°f):	17.70
Rango (°f):	10.00	Reposición de Agua (GPM):	0.7
Approach (°f):	20.00	Densidad de Rociado (GPM / ft²):	6.9
L/G ratio:	2.0107	L/G ratio:	2.0338
Kav/l:	0.4076	Kav/l:	0.6141
Factor de corrección de MERKEL:	1.0599	Factor de corrección de MERKEL:	1.0599
Kav/l (total):	0.4320	Kav/l (total):	0.6509
Capacidad (BTU/h):	310,248	Tipo de fill:	AMV 12
Delta de presión (PSig):	4.7	No. de pisos:	1
Diámetro de la torre sugerido:	1"	Capacidad (BTU/h):	381,605
Condiciones Ambientales		Condiciones de Salida del Aire	
Altura sobre el nivel del mar (ft):	5000	Volumen específico del aire para la selección del ventilador (ft³/lb):	17.6990
Temperatura de Bulbo Seco (°f):	85.00	Humedad absoluta del aire (lb/lb AS):	0.0375
Temperatura de Bulbo Húmedo (°f):	70.00	Temperatura del bulbo húmedo (°f):	89.70
Presión barométrica (PSia):	12.19	Presión estática total (in H2O):	0.139
Volumen específico (ft³/lb):	18.969	Potencia consumida promedio (hp):	0.16
Humedad absoluta del aire (lb/lb AS):	0.0156		
Entalpía del aire (BTU/lb):	37.55		

AMV 04-17-950



**GLACIAR INGENIERIA LTDA.**

Carrera 54 # 79 B Sur 35 La Estrella

Teléfono: 309 09 48 / Fax: 279 76 84

Nit 900.024.189-4

E-MAIL: [ventas@glaciar.com.co](mailto:ventas@glaciar.com.co)

[jfgomez@glaciar.com.co](mailto:jfgomez@glaciar.com.co)

**GARANTÍA TORRES DE ENFRIAMIENTO GLACIAR**

Los equipos objeto de esta cotización se han fabricado con los mejores niveles de calidad, razón por la cual se otorgan un (1) año de garantía contra defectos de fabricación y funcionamiento, lo cual comprende asistencia técnica y suministro de repuestos en caso de ser necesario.

Para tener derecho a la garantía se deben reunir varios requisitos:

1. Debe notificarse el hecho que se solicita como garantía dentro de los treinta (30) días siguientes a su ocurrencia, so pena de caducidad (artículo 932 del Código de Comercio).
2. El equipo no debe haber sido de ninguna manera intervenido por terceros mientras no se haya surtido el procedimiento de garantía.
3. Debe haberse cumplido con el Manual de Operación y Mantenimiento, de lo cual deberá existir el protocolo correspondiente.
4. El equipo debe haberse utilizado para el fin para el cual fue vendido y haberse instalado en las condiciones técnicas recomendadas.

En condiciones normales y adecuadas de uso, la calidad y buen funcionamiento de la torre y sus equipos alternos se puede garantizar por el plazo señalado. Sin embargo, un descuido o negligencia por las normas señaladas puede originar daños, especialmente en el motor, parte fundamental en el funcionamiento de la torre.

Esta garantía se anula en los siguientes casos:

- En caso de comprobarse daños provenientes de variaciones del voltaje mayor al 5% del indicado en las placas de los motores, por tanto, si han fallado se remitirán para concepto del fabricante.
- En caso de que ingrese humedad al motor por la inadecuada protección, mantenimiento y control de las acometidas eléctricas, lo cual es trabajo de un tercero.
- Que el equipo haya sido exigido por encima de su capacidad normal.
- Cuando la temperatura del agua de suministro de la torre supere los 140° F o 60°C.
- Cuando no se hayan seguido las indicaciones de los manuales de instalación, operación y mantenimiento.

La obligación de garantía no incluye ningún equipo o parte de equipo que haya sido sujeto a alteración, accidente, abuso o uso no adecuado.

En ningún caso la garantía se otorga para cubrir perjuicios por lucro cesante, o daño emergente.

Una vez presentada la solicitud de garantía las partes elaboraran un acta en la cual detallarán el estado en el que se encuentra el equipo, las condiciones en las cuales se encuentra su instalación y todos los demás aspectos que deban ser analizados para establecer por qué ha ocurrido su falla. Una vez se conozca la causa, ya sea inmediatamente o dentro del plazo que se acuerde en ese momento, y establecido que el evento puede ser objeto de garantía, GLACIAR INGENIERIA LTDA., se obliga a indicar el plazo en el cual se corregirá el defecto presentado.

Si, por el contrario, se concluye que el evento no puede ser objeto de garantía, GLACIAR INGENIERIA LTDA., se obliga a indicar el por qué se toma esa decisión, con el soporte técnico correspondiente.

**GLACIAR INGENIERIA LTDA.**

AMV 04-17-950



**GLACIAR INGENIERIA LTDA.**

Carrera 54 # 79 B Sur 35 La Estrella

Teléfono: 309 09 48 / Fax: 279 76 84

Nit 900.024.169-4

E-MAIL: [ventas@glaciar.com.co](mailto:ventas@glaciar.com.co)

[jfgomez@glaciar.com.co](mailto:jfgomez@glaciar.com.co)

Ventilador

Son fabricados en plástico reforzado con fibra de vidrio, aletas de perfil aerodinámico de alta eficiencia y acoplados directamente al motor. El ángulo de ataque ajustable manualmente en campo, permite una amplia gama de posibilidades de desempeño en cada modelo de torre de enfriamiento, dando como resultado unos niveles de ruido extremadamente bajos al tomarse en cuenta sus bajas revoluciones de giro y optimizando las holguras con el cuerpo del equipo.

El motor TEFC, SIEMENS, poseen protección IP55 especial para trabajo a la intemperie y ambientes altamente húmedos con sistemas de aislamiento aptos para usarse con variadores de velocidad, materiales que permiten garantizar un factor de seguridad de 1.15, para potencias normalizadas, Clase F.

Estructura metálica de soporte del motor en acero galvanizado en caliente, tornillos, tuercas y arandelas en inoxidable.

Persianas de entrada del aire

Fabricadas en pvc con un perfil aerodinámico que minimiza las pérdidas por fricción en la entrada del aire, brindando un considerable ahorro en el consumo eléctrico del motor y en la presión estática a vencer por el ventilador, dando como resultado más bajos consumos de corriente que torres similares, efecto que se debe evaluar en el tiempo de acuerdo a los kw consumidos/año.

Su diseño igualmente evita la entrada directa de rayos solares al interior del tanque de agua, disminuyendo notablemente la generación de algas y microorganismos que incrementan las labores de mantenimiento y aseo en los equipos de aire acondicionado. Las pérdidas por salpique son mínimas al trabajar como atrapadores de gotas hacia el exterior de la torre, dando una apariencia mejor a las salas de equipos evitando los charcos alrededor de las torres.

Tanque de agua

Fabricado en secciones de fácil manejo y ensamble en sitio, con pendientes internas que permiten el drenaje del contenido del tanque para labores de mantenimiento, soportan estructuralmente la torre y están provistos de conexiones de drenaje, llenado rápido con válvula de control de nivel tipo flotador, rebose con sifón interno y conexiones de salida del agua al sistema en pvc.

Suministros no incluidos en la oferta

Pólizas o algún tipo de gastos legales.

Suministro e instalación a cero (0) metros de la corriente eléctrica de potencia y control para los Equipos y accesorios necesarios

Cualquier trabajo de albañilería, mampostería y/o carpintería, necesarios para la instalación de los equipos.

Bases de concreto, fundaciones necesarias para los equipos.

Tableros eléctricos de potencia para todas las unidades o acometida protegida a cada uno de los tableros o para alojar los variadores de velocidad.

Almacenamiento seguro en obra para los equipos y herramientas.

Acometida de agua de reposición y líneas de drenaje de los equipos como también las tuberías de abasto del acueducto.

AMV 04-17-950



**GLACIAR INGENIERIA LTDA.**

Carrera 54 # 78 B Sur 35 La Estrella

Teléfono: 309 09 48 / Fax: 279 76 84

Nit 900.024.169-4

E-MAIL: ventas@glaciar.com.co

jfgomez@glaciar.com.co

**DESCRIPCIÓN DEL SUMINISTRO**

**CONDICIONES DE LOS EQUIPOS A SUMINISTRAR**

Se suministrará un equipo con las condiciones de funcionamiento mínimas descritas más adelante. Todos los equipos se seleccionaron para funcionar a una altitud de 4915 pies sobre el nivel del mar y se aplicaron las correcciones necesarias para operación en altura.

El suministro incluye las instrucciones y recomendaciones necesarias para el correcto montaje, instalación y arranque del equipo.

**TORRE DE ENFRIAMIENTO GLACIAR**

Las torres de enfriamiento son fabricadas en resinas de poliéster reforzado con fibra de vidrio, laminadas en procesos estandarizados que aseguran su estabilidad dimensional y espesor, en secciones totalmente desarmables facilitando así su transporte hasta el sitio final de instalación; poseen además un tanque colector de agua que asegura su rigidez estructural, estanqueidad y distribución uniforme de la carga con respecto a la base del piso.

Diseñadas para trabajo a la intemperie, brindan una alta resistencia a los agentes climáticos y a la radiación ultravioleta de los rayos solares. La parte estructural de la unidad es fabricada en fibra de vidrio, resistente a ambientes altamente húmedos; por lo tanto su nivel de deterioro por factores ambientales es mínimo.

Sección Evaporación

El material de relleno de la sección de evaporación es fabricado en láminas termoformadas de PVC con 12 mm de profundidad y 0.008" de espesor, fabricadas por Brentwood Corporation, formado por canales cruzados, de alta área efectiva para brindar una máxima transferencia de calor entre aire-agua y ayudar a aumentar el tiempo de residencia del agua dentro de la torre.

Las superficies evaporadoras serán en cubos de 6 Ft x 1 Ft x 1 Ft cada uno. La temperatura máxima de operación es de 140 °F

Sección Eliminadores de Gotas

Esta sección está formada por cubos de PVC de 3 Ft x 1 Ft x 0.42 Ft de altura, hechos a partir de láminas termoformadas de 0.010" de espesor, con un laberinto de forma senoidal de alta eficiencia, con espacios integrales que minimizan las pérdidas de agua por arrastre del aire, pasando solamente el 0.002% del agua recirculada.

Boquillas Aspersoras

Se suministrarán boquillas aspersoras del tipo cono aspersor, importadas especialmente para las torres de enfriamiento, en PVC para operar a una presión no mayor de 10 psi. Estas boquillas incluyen su acople para fijación al árbol de rociado. La temperatura máxima de trabajo es de 180 °F

Árbol de Rociado

Las tuberías serán de PVC RDE 41 para 100 PSIG de presión máxima de trabajo y los accesorios PVC serán RDE 21 para 200 PSIG de trabajo. La temperatura de distorsión es de 140 °F.

AMV 04-17-950



**GLACIAR INGENIERIA LTDA.**  
Carrera 54 # 79 B Sur 35 La Estrella  
Teléfono: 309 09 48 / Fax: 279 76 84  
Nit 900.024.169-4  
E-MAIL: ventas@glaciar.com.co  
jfgomez@glaciar.com.co

## COTIZACION

Para:	Ing. Javier Facundo
Empresa:	EAFIT
Tel./Fax:	4-235 12 56
Dirección:	ifacundo@eafit.edu.co

Cotización:	AMV 04-17-950
Fecha:	Abril 17 de 2008
Referencia:	Torre enfriamiento AMV-015

### 1. OFERTA

Item	Cant.	Descripción	Vr. Unitario	Vr. Oferta
1	1	Torre de enfriamiento GLACIAR Modelo AMV-015 con capacidad de enfriamiento 62 GPM (3.9 lts/seg) Temp entrada del agua, 100°F, temperatura de salida del agua 87.7°F, twb 70°F. Para trabajo en MEDELLIN Temperatura máxima de operación del relleno 140°F Capacidad de enfriamiento 381,605 BTU/hr	\$ 3'950,000	\$ 3'950,000
		TOTAL		\$ 3'950,000

Los precios no incluyen IVA. EWK Medellín.

### 2. CONDICIONES COMERCIALES

Forma de pago: 50% Anticipo con la O.C. 50% previo al despacho.

El valor se debe pagar a nombre de GLACIAR INGENIERIA LTDA., con NIT 900.024.169-4, en la cuenta corriente BANCOLOMBIA Nro. 029-224134-57

Validez oferta: 30 Días calendario, contados a partir de la fecha de esta cotización.

Entrega: 1-2 semanas a partir de la orden de compra y pago del anticipo

Transporte: Por Glaciar Ingenieria Ltda., en la zona urbana de Medellín.

### OBSERVACIONES:

JUAN FERNANDO GOMEZ G.  
DIRECTOR COMERCIAL

AMV 04-17-950

ANEXO E. Cotización Secador marca Atlas Copco referencia FD380.



Señores  
JAVIER FACUNDO  
jfacundo@eafit.edu.co  
Medellín

Ref : Oferta Compresor

OF.2678

Med, 08-04-18

Apreciados Señores

En atención a su amable solicitud tenemos el agrado de presentar para su estudio y consideración nuestra mejor propuesta de solución a su demanda de calidad de aire comprimido con el siguiente equipo Sueco marca ATLAS COPCO, así :

Secador frigorífico de expansión directa
FD 380

En nombre de ATLAS COPCO, agradezco su interés en los productos que representamos y respaldamos como única subsidiaria que en Colombia vende y presta servicio a sus propias unidades.

Esperamos que en la presente encuentren la alternativa que mejor se ajuste a sus expectativas de confiabilidad y economía y así tener la oportunidad de demostrarles la superior calidad de nuestros equipos y servicios.

Cordialmente,

ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA

Ing. Carlos Ramírez  
Celular 310-299-12-65  
E mail : carlos.ramirez@co.atlascopco.com

### SECADOR FRIGORIFICO DE EXPANSION DIRECTA FD

Estos secadores de aire comprimido tipo frigorífico refrigerados por aire, constan de dos intercambiadores de calor, aire-aire y aire-refrigerante de muy alta eficiencia ( R404a ), separador de condensado de tipo ciclónico y trampa de agua con descarga automática y manual, circuito refrigerante con compresor, condensador en tubos de acero, ventilador, tanque de reserva del refrigerante líquido y válvula de expansión automática.

Los secadores están equipados con un sistema de regulación automática para mantener un punto de rocío a presión estable.

Los secadores vienen a su vez con un indicador electrónico con lecturas permanentes donde se puede verificar y controlar la temperatura del punto de rocío ( que es el único parámetro que indica el grado de secado del aire ).

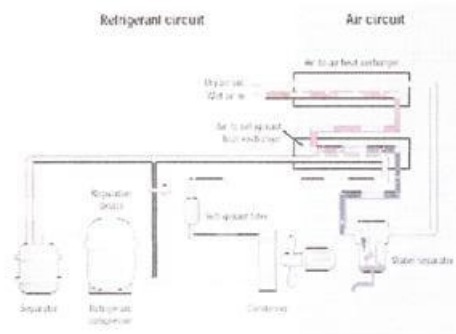
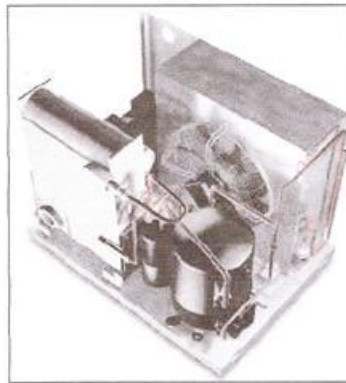
Un indicador de voltaje conectado, indicador de temperatura del punto de rocío, pulsador de arranque y pulsador de paradas.

### DATOS TECNICOS

	FD 380
Tipo	Refrigerado
Capacidad nominal	806 cfm
Punto de rocío	4° C
Presión normal de operación	100 psig
Presión máxima de operación	210 psig
Temperatura normal del aire a la entrada	38° C
Temperatura máxima del aire a la entrada	56° C
Temperatura ambiente máxima	46° C
Refrigerante	R404a

*Atlas Copco*

PAGINA No.3  
ATN. ING. JAVIER FACUNDO  
OFERTA No.2678  
MEDELLÍN, ABRIL 18 DE 2008





PAGINA No.4  
ATN. ING. JAVIER FACUNDO  
OFERTA No.2678  
MEDELLÍN, ABRIL 18 DE 2008

CONDICIONES COMERCIALES

EQUIPO	INVERSION LOCAL	INVERSION FOB
Secador FD 380	USD 16.500.00	USD 13.200.00

FORMA DE PAGO	
LOCAL MEDELLIN	Contado contra entrega. El dólar será liquidado de acuerdo a la TRM del día de pago más el IVA vigente.
FOB AMBERES	Carta de crédito irrevocable y pagadera a la vista contra presentación de documentos de embarque a nombre de Atlas Copco Airpower N.V, o giro directo a favor del mismo beneficiario.

TIEMPO DE ENTREGA	
LOCAL	Ocho ( 8 ) semanas.
FOB	Cuatro ( 4 ) semanas.

LUGAR DE ENTREGA	
LOCAL	Sus instalaciones en Medellín
FOB	Puerto de embarque en Amberes Bélgica

FABRICANTE  
ATLAS COPCO AIRPOWER N.V.  
Industrial Air División  
P.O. Box 103  
Boomsesteenweg 957  
2610 Wilrijk  
Belgium



PAGINA No.5  
ATN. ING. JAVIER FACUNDO  
OFERTA No.2678  
MEDELLÍN, ABRIL 18 DE 2008

#### **GARANTIA**

A partir de la fecha de entrega o recepción del equipo, **ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA** ofrece un ( 1 ) año de garantía para el secador frigorífico de expansión directa, como también se compromete a reparar toda anomalía y/o reemplazar todo elemento que falle por la calidad de los materiales y/o defectos en la mano de obra en el menor tiempo posible.

La garantía ampara el equipo en condiciones normales de operación y cuando se han cumplido los requerimientos para su instalación, manejo y mantenimiento.

**ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA**, no ampara bajo su garantía daños producidos por instalaciones defectuosas, baja calidad de aire de entrada, ambientes agresivos, accidentes, desastres, siniestros, fallas de energía eléctrica, mala operación de los equipos o daños causados por personal ajeno a **ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA**.

#### **RESPALDO TECNICO**

**ATLAS COPCO COLOMBIA LTDA**, cuenta con un Departamento Técnico con alta trayectoria y experiencia que nos permite garantizarles mantenimiento y asesoría permanente de nuestro selecto grupo de Ingenieros y Técnicos especializados. Adicional a esto todos nuestros usuarios tienen acceso a nuestro "**CLUB DE USUARIOS**" que les brinda la oportunidad de obtener servicio técnico de emergencia los 365 días del año.

#### **INSTALACION**

El costo del equipo incluye la inspección del área física donde será instalado, así como la revisión y aprobación de la instalación eléctrica correspondiente.

El arranque y puesta a punto así como la instrucción a su personal en la operación y mantenimiento del secador también está contemplado dentro del precio de venta.

ANEXO F. Plan de acción propuesto.

Categoría de Causas - Causa		Conframedida Propuesta	Responsable	SEMANA 2008														
				PLAN	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
MATERIAL Y COMPONENTES	Tubería de la red de aire en acero al carbón	Generación de PMP para Red de Aire Comprimido que garantice la inspección periódica de la red, limpieza y pintura.	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Programado														
		Revisar y acondicionar purgas automáticas para la eliminación de la humedad en el sistema	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Programado														
		Estandarización de materiales y accesorios para nuevas instalaciones, incluida en el dossier TPM en proyectos	RG Mantenimiento Proyectos Staff TPM	Real														
	Accesorios en la red de aire no estandarizados	Estandarización de referencias y marcas de equipos para componentes de la red de aire comprimido, según el listado de materiales recomendados por Renault.	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Real														
		Actualización del formato de recepción de equipos e instalaciones que incluya revisión sobre repuestos recomendados por Renault	Staff Mantenimiento Almacén PHF	Programado														
		Identificación de componentes fuera del estándar y reemplazo	Staff TPM División de Mantenimiento	Real														
		Identificación y delimitación de zonas de consumo	RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble)	Real														
	MÉTODO	Simultaneidad en el consumo no considerada en el diseño original	Estudio de consumo por zonas y subzonas	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Programado													
			Actualización del listado de equipos neumáticos	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Real													
		Puntos de control en sitios inadecuados técnicamente	Levantamiento de planos e información actualizada.	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Programado													
Identificación de puntos de control representativos			Staff Fluidos División de Mantenimiento	Real														
Variación del diámetro de la tubería principal de 4" a 6" en tramo extenso		Ubicación de elementos de control representativos	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Programado														
		Modificación del diseño de la red de aire comprimido, simplificándolo	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Real														
DISEÑO	Estandarización de diámetros de tubería en la red de aire comprimido principal	Evaluación del rediseño de la red según la propuesta presentada	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Programado														
		Reubicación de Válvulas, asegurando accesibilidad para mantenimiento.	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Real														
	Válvulas de paso inaccesibles y mal ubicadas técnicamente	Identificación visual de cada Válvula con su zona de afectación.	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Programado														
		Adquisición de un compresor de aire libre de aceite para el taller de piezas plásticas e Ingeniería (Atlas Copco ZR110)	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Real														
	Distancias entre puntos de consumo y salón de compresores muy extensas.	Higiene de la red neumática principal, identificando tramos y elementos obsoletos (fuera de servicio) y eliminándolos.	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Programado														
		Identificación de accesorios y complementos de la tubería de transporte de aire comprimido fuera de servicio y eliminados.	RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble)	Real														
	Fugas	Programa de identificación y corrección de fugas en redes y uniones en cada uno de los puestos de trabajo.	RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble)	Programado														
		Diseño de plan de seguimiento con proveedor especializado para identificación de fugas no detectables por operarios.	Staff Fluidos División de Mantenimiento	Real														
	MANO DE OBRA	Personal no capacitado en montajes y mantenimiento de los accesorios y red de aire.	Complementación de procedimiento de recepción de equipos con el diagrama de la instalación neumática típica correspondiente	Staff TPM División de Mantenimiento	Programado													
			Publicación del procedimiento actualizado. Divulgación a los usuarios interesados.	Staff TPM División de Mantenimiento	Real													
Empelo del recurso de forma inadecuada		Campaña para identificación y corrección de malas prácticas con aire comprimido	Staff TPM División de Mantenimiento	Programado														

