

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE  
COMPRIMIDO, Y REUTILIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE  
SANDBLASTING PARA LIMPIEZA DE TUBERÍAS EN LA  
EMPRESA INCOAYAM CÍA. LTDA.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**Por:**

**ROBERTO FERNANDO DONOSO CRUZ**

**DIRECTOR: ING. CARLOS NARANJO**

**CODIRECTOR: ING. ANÍBAL LÓPEZ**

**Sangolquí, 2013-07**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, Y REUTILIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE SANDBLASTING PARA LIMPIEZA DE TUBERÍAS EN LA EMPRESA INCOAYAM CÍA. LTDA.” fue realizado en su totalidad por ROBERTO FERNANDO DONOSO CRUZ, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Carlos Naranjo**  
**DIRECTOR**

---

**Ing. Aníbal López**  
**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 13-07-08**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, ROBERTO FERNANDO DONOSO CRUZ**

### **DECLARO QUE:**

La tesis / proyecto de grado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, Y REUTILIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE SANDBLASTING PARA LIMPIEZA DE TUBERÍAS EN LA EMPRESA INCOAYAM CÍA. LTDA.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mí autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 08 de Julio de 2013

---

Roberto Fernando Donoso Cruz

C.I.:171744036-4

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

**Yo, ROBERTO FERNANDO DONOSO CRUZ**

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, Y REUTILIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE SANDBLASTING PARA LIMPIEZA DE TUBERÍAS EN LA EMPRESA INCOAYAM CÍA. LTDA.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 08 de Julio del 2013.

---

Roberto Fernando Donoso Cruz

C.I.: 171744036-4

## **DEDICATORIA**

- A mi Dios que me ha provisto de fuerzas y sabiduría para lograr ésta meta, a ti toda la gloria Jesús.
- A mi madre, que con su sacrificio y cariño ayudó a formar de mí un profesional de bien.
- A mi padre, hermanas, a mi novia y amigos. A todas aquellas personas que estuvieron junto a mí durante este largo camino, creyendo y confiando en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A Dios por ser él quien me ha hecho, y no yo a mí mismo.
- A los Ingenieros Carlos Naranjo y Aníbal López que con su valioso tiempo y conocimiento aportaron a la excelencia de este proyecto.
- Al Ingeniero Carlos Ayala, y todo el personal de su empresa INCOAYAM, por las facilidades y apoyo brindado para la elaboración de este proyecto.
- A los maestros de mi querida ESPE, por las largas horas de conocimientos impartidas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
LISTADO DE FIGURAS.....	xi
LISTADO DE ECUACIONES .....	xv
LISTADO DE ANEXOS.....	xvi
NOMENCLATURA.....	xvii
RESUMEN .....	xx
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. INCOAYAM CÍA LTDA.....	1
1.1.1. VISIÓN .....	1
1.1.2. MISIÓN.....	2
1.1.3. VALORES.....	2
1.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	2
1.2.1. AIRE COMPRIMIDO.....	4
1.2.2. PREPARACIÓN SUPERFICIAL .....	9
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	11
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	11
1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION. ....	12
1.5. ALCANCE DEL PROYECTO.....	13

<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
<b>2.MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1.AIRE COMPRIMIDO.....	14
2.1.1. EVOLUCION HISTORICA DEL AIRE COMPRIMIDO .....	15
2.1.2. REDES DE AIRE COMPRIMIDO .....	16
2.1.3. MATERIALES DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO .....	28
2.1.4. FUGAS. ....	34
2.1.5. FUNDAMENTOS FISICOS DEL AIRE .....	35
2.1.6. GASES PERFECTOS .....	39
2.1.7. COMPRESORES .....	42
2.2.LIMPIEZA ABRASIVA .....	49
2.2.1. RESEÑA HISTORICA. ....	49
2.2.2. DEFINICIÓN.....	50
2.2.3. EQUIPOS DE SANDBLASTING.....	51
2.2.4. CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO.....	54
2.2.5. GRADOS DE PREPARACIÓN POR SANDBLASTING.....	54
2.2.6. PROCEDIMIENTOS Y PATRONES DE LIMPIEZA.....	56
2.2.7. MATERIALES UTILIZADOS CON CHORRO ABRASIVO.....	58
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>62</b>
<b>3.DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO</b> .....	<b>62</b>
3.1.DESCRIPCION DE NECESIDAD DE AIRE.....	62
3.1.1. AREA DE MAQUINAS HERRAMIENTAS. ....	63
3.1.2. AREA AUTOS PROTOTIPO .....	65
3.1.3. CONTROL DE CALIDAD.....	67
3.1.4. AREA DE RETIROS Y ALMACENAMIENTO DE GAS .....	68
3.1.5. AREA DE SANDBLASTING .....	70
3.1.6. AREA DE PINTURA.....	72
3.1.7. AREA DE ENSAMBLE .....	73
3.2.LAY OUT PRELIMINAR.....	75
3.3.CALCULO DE NECESIDAD DE AIRE.....	75
3.3.1. REQUERIMIENTOS REALES POR ZONA. ....	76



3.3.2. CALCULO DE FACTOR DE SIMULTANEIDAD .....	80
3.3.3. DETERMINACIÓN DE FACTOR DE FUGAS.....	81
3.3.4. DETERMINACIÓN DE FACTOR DE EXPANSIÓN.....	81
3.3.5. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE ERROR.....	81
3.3.6. FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTURA.....	81
3.3.7. CALCULO DE CAUDAL NECESARIO CORREGIDO .....	83
3.4.DIMENSIONAMIENTO .....	84
3.4.1. MÁXIMA CAÍDA DE PRESIÓN .....	95
3.4.2. PRESIÓN DE OPERACIÓN.....	95
3.4.3. CALCULO DE DIÁMETROS MÍNIMOS.....	96
3.5.SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA RED.....	99
3.6.SELECCIÓN DE LA UNIDAD COMPRESORA .....	103
3.6.1. CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESOR SELECCIONADO. ....	105
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>106</b>
<b>4.INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.....</b>	<b>106</b>
4.1.PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES .....	106
4.2.ADQUISICIÓN DE MATERIALES .....	106
4.2.1. MATERIALES REQUERIDOS.....	106
4.2.2. COMPRA DE MATERIALES Y EQUIPOS FALTANTES.....	108
4.3.MONTAJE DEL COMPRESOR .....	108
4.3.1. TECHO Y CERCA .....	108
4.3.2. ANCLAJE DEL COMPRESOR.....	111
4.3.3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	112
4.4.MONTAJE DE LA RED.....	113
4.4.1. TERMO FUSIÓN .....	113
4.4.2. INCLINACIÓN DE LAS LÍNEAS.....	117
4.4.3. CONEXIÓN DE LÍNEAS SECUNDARIAS .....	118
4.4.4. SOPORTES.....	119
4.4.5. ELEMENTOS EXTRAS .....	120
4.4.6. ACCESORIOS EN LOS PUNTOS DE CONSUMO.....	121
4.5.PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	121

4.5.1. ARRANQUE DEL SISTEMA.....	122
4.5.2. PRUEBAS DE FUGAS .....	122
4.5.3. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD.....	123
4.6. MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO .....	124
<b>CAPITULO 5.....</b>	<b>125</b>
<b>5.REACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO DE SANDBLASTING .....</b>	<b>125</b>
5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CABINA DE SANDBLASTING .....	125
5.2. ABERTURA DE LATERALES.....	126
5.3. SOPORTES DE TUBERÍA .....	127
5.3.1. CÁLCULO DE PESO MÁXIMO PARA LOS SOPORTES.....	130
5.4. SELECCIÓN DE ABRASIVO.....	133
5.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	136
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>138</b>
<b>6.ANÁLISIS ECONOMICO-FINANCIERO .....</b>	<b>138</b>
6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	138
6.1.1. COSTOS DE INVERSIÓN.....	138
6.1.2. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS.....	145
6.2. ANÁLISIS FINANCIERO.....	150
6.2.1. CALCULO DE VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	150
6.2.2. CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....	151
6.2.3. PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI).....	152
6.2.4. RELACIÓN COSTO BENEFICIO (C/B).....	153
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>154</b>
<b>7.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>154</b>
7.1. CONCLUSIONES .....	154
7.2. RECOMENDACIONES.....	155
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
ANEXOS .....	159

## LISTADO DE FIGURAS

Fig. 1.1 Desorden Inicial de la Planta.....	4
Fig. 1.2 Compresores en el Tránsito.....	5
Fig. 1.3 Lijado Manual de Tubería de Cobre.....	9
Fig. 1.4 Cabina de Sandblasting Disponible .....	10
Fig. 2.1 Nomograma .....	24
Fig. 2.2 Cuello de Cisne.....	26
Fig. 2.3 Red de Aire Comprimido Cerrado.....	27
Fig. 2.4 Red de Aire Comprimido Abierto.....	27
Fig. 2.5 Comparación de Materiales de Tuberías .....	33
Fig. 2.6 Presión Relativa .....	37
Fig. 2.7 Constante R del Aire en Varias Unidades.....	42
Fig. 2.8 Tipos de Compresores.....	43
Fig. 2.9 Compresor de Lóbulos.....	44
Fig. 2.10 Compresor de tornillo.....	45
Fig. 2.11 Compresor de Paletas.....	46
Fig. 2.12 Compresor Alternativo.....	47
Fig. 2.13 Compresor Centrifugo .....	48
Fig. 2.14 Compresor Axial.....	48
Fig. 2.15 Sandblasting por Aire.....	50
Fig. 2.16 Proyección Centrifuga .....	50
Fig. 2.17 Equipo de Sandblasting por Presión .....	52
Fig. 2.18 Funcionamiento de la Succión .....	53
Fig. 2.19 Equipo de Sandblasting por Succión .....	53
Fig. 2.20 Patrones de Estados Superficiales Según Norma SSPC .....	55
Fig. 2.21 Formas de Granos de Granalla.....	60
Fig. 3.1 Participación de Demanda de Aire por Zona.....	79
Fig. 3.2 Nomograma de Longitudes Equivalentes.....	87
Fig. 3.3 Compresor Seleccionado .....	105
Fig. 4.1 Zona de Ubicación del Compresor.....	109
Fig. 4.2 Diseño de Techo para Compresor .....	109

Fig. 4.3 Techo para Compresor Instalado.....	110
Fig. 4.4 Diseño de Cerca para Compresor.....	111
Fig. 4.5 Cerca del Compresor Instalada.....	111
Fig. 4.6 Forma de Anclaje del Compresor.....	112
Fig. 4.7 Conexión Eléctrica .....	113
Fig. 4.8 Elementos para Corte y Termo Fusión.....	115
Fig. 4.9 Inclinación Tramo A-F .....	117
Fig. 4.10 Inclinación Tramo F-G .....	117
Fig. 4.11 Derivación Instalada.....	118
Fig. 4.12 Puntos Finales Polipropileno.....	118
Fig. 4.13 Soportes por Abrazaderas .....	120
Fig. 4.14 Soportes por Amarras .....	120
Fig. 4.15 Accesorios de Puntos de Consumo .....	121
Fig. 5.1 Pistola de Succión.....	125
Fig. 5.2 Abertura de Paredes Laterales .....	127
Fig. 5.3 Membranas de Paredes Laterales .....	127
Fig. 5.4 Máquina y Soportes .....	128
Fig. 5.5 Posiciones de Bolas Transportadoras.....	132
Fig. 5.6 Soporte Diseñado Construido y Montado .....	133

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1 Factor de Simultaneidad .....	17
Tabla 2.2 Densidad de Aire vs Altura .....	19
Tabla 2.3 Caída de Presión Admisible Recomendada .....	22
Tabla 2.4 Características de Arena y Granalla de Acero .....	61
Tabla 3.1 Herramientas Zona 1 .....	63
Tabla 3.2 Horas de Funcionamiento Zona1 .....	64
Tabla 3.3 Herramientas Zona 2 .....	65
Tabla 3.4 Horas de Funcionamiento Zona 2 .....	66
Tabla 3.5 Herramientas Zona 3 .....	67
Tabla 3.6 Horas de Funcionamiento Zona 3 .....	68
Tabla 3.7 Herramientas Zona 4 .....	69
Tabla 3.8 Horas de Funcionamiento Zona 4 .....	69
Tabla 3.9 Herramientas Zona 5 .....	70
Tabla 3.10 Horas de Funcionamiento Zona 5 .....	71
Tabla 3.11 Herramientas Zona 6 .....	72
Tabla 3.12 Horas de Funcionamiento Zona 6 .....	73
Tabla 3.13 Herramientas Zona 7 .....	74
Tabla 3.14 Horas de Funcionamiento Zona 7 .....	75
Tabla 3.15 Requerimientos Reales por Zona .....	78
Tabla 3.16 Número de Herramientas Neumáticas .....	80
Tabla 3.17 Resumen de Cálculo Final de Caudal Requerido .....	83
Tabla 3.18 Caudal Requerido por Punto de Consumo .....	84
Tabla 3.19 Tramos de la Red de Aire .....	85
Tabla 3.20 Caudal por Tramo de Tubería .....	86
Tabla 3.21 Longitudes Equivalentes y Totales por Tramo .....	88
Tabla 3.22 Diámetros Mínimos Requeridos por Tramo .....	97
Tabla 3.23 Diámetros Definitivos para las Tuberías de la Red .....	99
Tabla 3.24 Matriz de Decisión Selección de Material de la Red .....	102
Tabla 3.25 Propiedades Especificas del Polipropileno .....	102
Tabla 3.26 Matriz de Decisión Selección de Compresor .....	104

Tabla 4.1 Materiales Requeridos por Diseño .....	107
Tabla 4.2 Tiempos de Trabajo en Termo Fusión Polipropileno.....	116
Tabla 4.3 Distancias de Anclaje.....	119
Tabla 4.4 Parámetros para Pruebas de Estanqueidad .....	123
Tabla 5.1 Condiciones de Operación Sandblasting .....	126
Tabla 5.2 Características Tubería de Acero al Carbono ASTM A53 /A106...	129
Tabla 5.3 Especificaciones Técnicas de Bolas Transportadoras .....	132
Tabla 5.4 Diámetros vs Posición de Bolas Trasportadoras.....	133
Tabla 5.5 Abrasivos Recomendados .....	134
Tabla 5.6 Matriz de Decisión Selección de Abrasivo .....	136
Tabla 5.7 Materiales y Tiempos de Prueba Empleado en Nuevo Método ....	137
Tabla 6.1 Costos de Diseño .....	139
Tabla 6.2 Lista de Materiales Definitiva .....	139
Tabla 6.3 Costos Mano de Obra .....	143
Tabla 6.4 Costos Indirectos.....	144
Tabla 6.5 Costos de Inversión.....	144
Tabla 6.6 Área de Tubería Limpiada Mensualmente .....	145
Tabla 6.7 Costos del Proceso de Limpieza Anterior .....	146
Tabla 6.8 Criterio de Evaluación del VAN .....	150
Tabla 6.9 Flujo de Fondos .....	151
Tabla 6.10 Criterio de Evaluación del TIR.....	152
Tabla 6.11 Valores Actualizados de Flujos de Fondos VAFF .....	152
Tabla 6.12 Relación Costo Beneficio .....	153

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 .....	18
Ecuación 2.2 .....	20
Ecuación 2.3 .....	20
Ecuación 2.4 .....	22
Ecuación 2.5 .....	23
Ecuación 2.6 .....	23
Ecuación 2.7 .....	24
Ecuación 2.8 .....	35
Ecuación 2.9 .....	36
Ecuación 2.10 .....	37
Ecuación 2.11 .....	37
Ecuación 2.12 .....	39
Ecuación 2.13 .....	40
Ecuación 2.14 .....	40
Ecuación 2.15 .....	41
Ecuación 2.16 .....	41
Ecuación 3.1 .....	77
Ecuación 3.2 .....	80
Ecuación 3.3 .....	99
Ecuación 5.1 .....	130
Ecuación 6.1 .....	139
Ecuación 6.2 .....	148
Ecuación 6.3 .....	149
Ecuación 6.4 .....	149
Ecuación 6.5 .....	149
Ecuación 6.6 .....	153

## LISTADO DE ANEXOS

**Anexo A.** *Layout planta INCOAYAM.*

**Anexo B.** *Unifilar de pre diseño.*

**Anexo C.** *Herramientas neumáticas.*

**Anexo D.** *Cronograma de actividades.*

**Anexo E.** *Datos técnicos del compresor.*

**Anexo F.** *Planos red aire comprimido.*

**Anexo G.** *Registro de pruebas.*

**Anexo H.** *Manuales de usuario y mantenimiento.*

**Anexo I.** *Manual de cabina de sandblasting.*

**Anexo J.** *Planos de modificación sandblasting.*

**Anexo K.** *Carta de conformidad.*



## NOMENCLATURA

in	Pulgadas
M	Metro
U	Unidad
hp	Caballos de potencia
Fs	Factor de simultaneidad
Ff	Factor de fugas
Fe	Factor de expansión
Ferr	Factor de error
Fca	Factor de corrección por altura
Fu	Factor de utilización
t	Tiempo
Tr	Tiempo referencial
Tu	Tiempo de utilización
d	Densidad
m	Masa
v	Volumen
CFM	Cubic Feet per Minute (Pies cúbicos por minuto)
SCFM	Pies cúbicos por minuto estándar.
ACFM	Pies cúbicos por minuto corregido.
T	Temperatura
$\Delta p$	Variación de presión
D	Diámetro
Ds	Diámetro línea secundaria
Dp	Diámetro línea principal
Q	Caudal, flujo
Dif%	Diferencia porcentual
R	Constante universal de los gases perfectos.
Pperdida	Pérdidas de presión
L	Longitud

Px	Presión de salida de compresor.
e	Espesor
$\sigma$	Límite de fluencia
seg	Tiempo, segundos
min	Tiempo, Minutos
KW	Energía, Kilowatts
mm	Longitud, Milímetros
Kg	Peso, Kilogramos
°C	Temperatura, grados centígrados
°F	Temperatura, grados Fahrenheit
bar	presión, bares.
F	Fuerza
P	Presión absoluta
Patm	Presión atmosférica
p	Presión relativa
A	Área
Zn	Zona de trabajo de la planta
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PVC	Cloruro de polivinilo
RC	Dureza Rockwell
HG	Acero galvanizado
AcN	Acero negro
l/s	Litros por segundo
Qe	Caudal, consumo específico de aire
QTr	Caudal total requerido
Qn	Caudal necesario
QTnc	Caudal total necesario corregido
PN	Puntos de consumo, 1....N.
RPM	Revoluciones por minuto
Hz	Hertz
AC	Corriente alterna
TDP	Tablero de poder eléctrico

EPP	Equipo de protección personal
Pt	Peso del tubo
Ws	Carga de soportes
f	factor de seguridad del diseño
Ns	Número de soportes
Wb	Carga de bolas transportadoras
SCH	Schedule, cedula de tuberías.
VAN	Valor actual neto
TMAR	Tasa mínima atractiva de retorno
TIR	Tasa interna de retorno
PRI	Periodo de recuperación de la inversión
VAFF	Valor actual de flujo de fondos
C/B	Relación costo beneficio

## RESUMEN

Este proyecto está claramente dividido en dos temas principales, el primero es el diseño, construcción e implementación del sistema de aire comprimido. El segundo, la reutilización de una cabina de sandblasting para aplicaciones de limpieza superficial de tuberías múlti diámetro en la planta industrial de la compañía INCOAYAM. Para el diseño del sistema de aire comprimido se estudió los procesos que requieren de aire, las herramientas neumáticas involucradas en estos procesos, para finalmente identificar el tiempo de funcionamiento típico de cada una de ellas en una jornada de trabajo. Después el estudio se asentó en el cálculo del caudal de aire requerido en la planta, analizando el requerimiento de cada herramienta, y multiplicando por varios factores de diseño. Posteriormente se dimensionaron los elementos, para finalmente construir y poner en marcha el sistema. Con respecto al segundo tema, existía un proceso con falencias, la preparación superficial de tuberías previa al proceso de pintura. La reutilización de la cabina de sandblasting para realizar la limpieza superficial de tuberías multi diámetro, se logró modificando su estructura, realizando perforaciones en las paredes laterales, colocando membranas retractiles en los orificios. Por último se diseñaron y construyeron elementos de soporte que permiten un tránsito horizontal y rotacional de la tubería a través de la cabina de sandblasting para la limpieza de tuberías de hasta 4 pulgadas de diámetro y 6 metros de largo, obteniendo beneficios de reducción de tiempo y dinero, con lo que se recupera la inversión de todo el proyecto en apenas 12 meses.

### **PALABRAS CLAVE:**

- Aire Comprimido.
- Diseño.
- Sandblasting.
- Reutilización.

## **CAPÍTULO 1**

“Diseño Y Construcción Del Sistema De Aire Comprimido, Y Reutilización De Una Estación De Sandblasting Para Limpieza De Tuberías En La Empresa Incoayam Cía. Ltda.”.

### **1.1. INCOAYAM CÍA LTDA.**

INCOAYAM es una compañía de Ingeniería y Construcciones especializada en diseñar y construir redes de distribución de gases combustibles. Nació en 1999 e inmediatamente se asoció comercialmente con la multinacional REPSOL quienes comercializan gas GLP en el Ecuador.

INCOAYAM ha desarrollado exitosamente el mercado de instalaciones de gas GLP en el Ecuador, posicionándose como líder del sector en el Ecuador. INCOAYAM a lo largo de su existencia ha entregado a sus clientes un alto valor agregado tecnológico y de servicios, lo cual ha sido obtenido a través de la constante innovación, esto le permite adaptarse rápidamente a cualquier requerimiento que el mercado demande como resultado del constante progreso del país.

#### **1.1.1. VISIÓN**

En corto tiempo tendremos una organización líder en Ecuador, excediendo las expectativas del cliente en cuanto al tiempo de respuesta, cumplimiento de compromisos contractuales, cumplimiento de las normas y leyes vigentes, y por sobre todo ahorrándole a nuestros clientes tiempo y dinero como resultado de que nuestra *organización colabora* muy

estrechamente con ellos a través de servicios de excelencia procurando procesos y resultados eficaces, oportunos e innovadores.

### **1.1.2. MISIÓN**

Somos una empresa que provee soluciones de ingeniería, construcción de sistemas de distribución de gases combustibles y otros servicios relacionados. Nuestro compromiso es ofrecer las mejores y más seguras soluciones del mercado, basadas en una combinación de servicios y productos de calidad superior, orientadas a lograr una preferencia permanente de nuestros clientes y asociados.

### **1.1.3. VALORES**

Obramos con transparencia ética y rectitud en todos nuestros actos; proporcionamos igualdad de oportunidades para el desarrollo integral de nuestros empleados e intermediarios; estimulamos el liderazgo, la creatividad, la innovación y la toma de decisiones; respetamos las leyes y cumplimos con nuestras obligaciones; somos leales en la relaciones con la competencia.

## **1.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

La empresa INCOAYAM tiene como actividad principal el diseño y construcción de sistemas gas centralizado, calentamiento de agua centralizado, redes de agua caliente, chimeneas a gas, ventilación, calefacción, red de CO<sub>2</sub>, instalaciones de GNL (gas natural licuado), tanto a nivel domiciliario, como industrial.

Posee el dominio de aproximadamente el 70% del mercado en estas actividades, y tiene una experiencia de 11 años en el mercado Ecuatoriano con la participación responsable de sus profesionales y una alianza importante con la compañía multinacional REPSOL GAS. Todos estos factores han ayudado a tener la confianza absoluta de clientes muy importantes como Uribe & Schwarzkopf, Álvarez Bravo, Grupo cerámico el Juri, Edesa, Duragas entre otros. En el momento se tienen en ejecución más de 100 proyectos de esta naturaleza, en varios lugares del país.

Dentro de la planta industrial de la empresa se realizan múltiples actividades de producción interna, elementos prefabricados que saldrán posteriormente a las obras. Esto se realiza mediante una previa requisición de los ingenieros supervisores encargados de las obras, las diseña el jefe de producción interna, y las ejecutan los obreros en la planta industrial de la compañía, bajo supervisión del jefe de planta. Además como actividad secundaria, se tiene el desarrollo, ensamble, mantenimiento y pruebas de autos de competencia tipo formula, para lo cual hay un sector de la infraestructura de la planta destinado para ello. Algunas de las producciones internas que se realizan son:

- Centralinas para conexiones de tanques de gas.
- Tubería pintada de cobre. Desde ¼ in hasta 3in.
- Tubería de acero negro pintada. Desde 1/2in hasta 4in.
- Pruebas de rendimiento, tiempo y eficiencia de diferentes tipos de soldaduras.
- Soldadura de cobre, SMAW, TIG, para “muñecos” o conjunto de tuberías y accesorios que requieran ser prefabricados en planta.
- Soportería de distinto diseño. Ménsula, cadena, voladizo, etc.
- Construcción de elementos para chimeneas.
- Ensamble de chimeneas a gas y pruebas de funcionamiento.
- Tanques de almacenamiento de gas.
- Cajas para almacenamiento de herramientas en las obras.

- Andamios
- Ensamble de extensiones eléctricas, neumáticas e hidráulicas.
- Tanques precipitadores de aceites y contaminantes.
- Ánodos de magnesio.
- Conjuntos para pruebas de presión en calderos, calefones, tanques, etc.
- Tableros eléctricos de control de equipos.
- Prensados de conjuntos especiales.
- Chimeneas, ductos y tapas.
- Servicio de desarrollo, ensamble, modificación y mantenimiento a automóviles prototipos de competencia.

### 1.2.1. AIRE COMPRIMIDO

Muchos de estos procesos industriales requieren directa, o indirectamente, el uso de aire comprimido para su ejecución. Para esto en la actualidad se dispone de compresores pequeños de 2 hp, que en horas de trabajo pico no abastecen el requerimiento total, de caudal ni presión necesarias. Esto ocasiona desorden dentro de la planta, retrasos en las entregas de las producciones internas, molestia entre los obreros y supervisores.



**Fig. 1.1 Desorden inicial de la planta**



Además se detectó que uno de los factores que impiden tener puestos fijos de trabajo en la planta de una forma organizada es que los obreros llevan los compresores donde se genera la necesidad, y otras veces llevan el elemento donde se encuentra un compresor, esto provoca desorden y confusión. Hay veces que se requiere aire comprimido en un puesto y no hay compresores disponibles, pues hay momentos que los compresores designados a los proyectos externos se averían y se ocupan los compresores de la planta, esto quiere decir que el número de compresores es fluctuante, por consecuencia el volumen de aire disponible también lo es.



**Fig. 1.2 Compresores en el tránsito**

La caída de presión de los compresores pequeños es muy rápida en varias actividades como pintura, el uso de equipos neumáticos, taladros, desarmadores, pruebas de presión etc. pues tienen un tanque de almacenamiento pequeño. Cuando esto ocurre se producen tiempos muertos de producción y una disminución en la calidad de los trabajos de recubrimiento superficial. *En pocas palabras, empíricamente se ha concluido que es más el volumen de aire requerido que el disponible.*

Dentro de la planta se proyecta la instalación de varias máquinas herramientas en este año, por cuestiones de compromiso de inversión en maquinaria, y sobre todo en desarrollo de nuevas líneas de negocio, como la incursión en energías solares.

Para el planteamiento de este proyecto se desarrolló una distribución en planta para organizar las zonas de trabajo, en el **ANEXO A** se presenta el (layout), donde se ha dividido la planta por 12 áreas de trabajo. A continuación se detallaran estas áreas, y los posibles requerimientos de aire comprimido en cada una de ellas en base al análisis de las herramientas neumáticas, funciones, o actividades que dependen del aire comprimido.

- **AREA DE MAQUINAS HERRAMIENTAS.**

**Descripción:** En esta área se va a instalar en este año un torno, una fresa, y dos taladros de banco que ya están en la planta actualmente.

**Aire comprimido:** Sopleteadoras neumáticas.

- **ALMACENAMIENTO MATERIA PRIMA GRAN VOLUMEN.**

**Descripción:** en esta zona se almacenan elementos mayormente de importación como tanques de agua, calderos, o los ductos fabricados antes de salir a proyectos.

**Aire comprimido:** No se ve la necesidad de una conexión neumática en esta aérea.

- **AREA DE MANUFACTURA.**

**Descripción:** en esta parte de la planta se tiene, dobladoras de tol, cizalla, entenallas, una prensa hidráulica manual, esmeriles, etc. Trabajos impulsados 90% por fuerza manual.

**Aire comprimido:** Por ahora no es prioritario se podrían implementar maquinarias con mecanismos hidráulicos a largo plazo.

- **AREA AUTOS PROTOTIPO**

**Descripción:** En esta área se da el servicio de desarrollo, mantenimiento, a autos prototipo de competencia.

**Aire comprimido:** Muy importante y necesario en esta área. Varias herramientas neumáticas: Llaves de impacto, infladores de llantas, pistolas para pulverizar, amoladora neumática angular, atornillador de par regulable, etc.

- **AREA DE SOLDADURA**

**Descripción:** en esta parte de la planta se tienen varias soldadoras tig, smaw, mig, mesas para realizar termo fusión en cobre.

**Aire comprimido:** Se pretende la utilización de esmeriladoras y lijadoras neumáticas para el proceso de limpieza de las soldaduras.

- **AREA DE ENSAMBLE**

**Descripción:** en esta área se realizan los ensambles de las piezas pre elaboradas.

**Aire Comprimido:** Se utilizarían algunas herramientas neumáticas, taladros, atornilladores, llave de impacto, etc.

- **CONTROL DE CALIDAD**

**Descripción:** Se realiza principalmente inspecciones con banco de prueba de presiones, inspecciones visuales y de estanqueidad.

**Aire Comprimido:** Tanto para el banco de pruebas de presiones, como para las pruebas de estanqueidad, además de una sopleteadora para limpieza en la inspección visual, requieren de aire comprimido.

- **RECEPCION DE MATERIALES**

En esta zona se guardan las cajas mayores de herramientas y se realiza inventarios de las mismas cuando retornan de los proyectos, en esta área no se requiere aire comprimido.

- **AREA DE RETIROS Y RECICLAJE**

**Descripción:** se almacena material reciclable, en esta área junto con la de almacenamiento de gases inertes se requiere un punto de aire para herramientas de corte neumática o una sopleteadora.

- **AREA DE SANDBLASTING**

**Descripción:** esta área actualmente es donde se realiza trabajos de lijado en las tuberías y donde se pretende instalar la estación de sandblasting.

**Aire Comprimido:** Se requiere aire comprimido con un caudal y presión específicos para la estación de sandblasting a succión, además de un equipo portátil de sandblasting a presión disponible en la planta.

- **AREA DE PINTURA**

**Descripción:** En la actualidad esta es un área abierta donde se realiza la pintura de la tubería, se tiene ya planificado la compra de una cabina de pintura para esta aplicación a corto plazo, además está cerca del área de los parqueaderos.

**Aire Comprimido:** Se requiere aire comprimido para: pistolas de pintura industriales, pistolas sopleteadoras, pulverizadoras, inflador neumático, (para vehículos de la empresa).

### 1.2.2. PREPARACIÓN SUPERFICIAL

Frecuentemente se realiza la pintura o recubrimiento superficial en tuberías de distintos diámetros de acero negro, acero inoxidable, y cobre. Además de que el código de colores en las tuberías es una obligación normativa para instalaciones, ayuda a evitar los procesos de oxidación. Previo al proceso de pintura se realiza la preparación superficial de la tubería.

En el caso del Cobre se realiza un procedimiento de lijado, para generar una superficie rugosa que pueda brindar buenas condiciones de adherencia entre el metal y la capa de pintura.



**Fig. 1.3 Lijado manual de tubería de Cu**

En el caso del cobre no hay mayor dificultad ya que solo se hace un procedimiento para formar una mayor rugosidad en la superficie con el objetivo de que la pintura tenga una mayor adherencia. Con el acero negro el trabajo de limpieza se torna totalmente difícil y molesto, el objetivo es retirar totalmente la pintura de protección que viene de fábrica en las tuberías, para poder aplicar la pintura del color blanco que solicitan las normas de instalación de gas. También se realizan esfuerzos físicos grandes en el lijado, que terminan agotando a los trabajadores que muchas veces tienen que continuar con otras actividades importantes disminuyendo su rendimiento.

La empresa dispone de un módulo de sandblasting que lo adquirieron hace dos años para un trabajo eventual de limpieza de piezas soldadas, en la actualidad no se lo utiliza por varias razones.



**Fig. 1.4 Cabina de Sandblasting Disponible**

- No es posible utilizarla para la limpieza superficial de tubería que es el trabajo para el cual que se la requiere.
- No se dispone de condiciones adecuadas en el suministro de aire comprimido de la planta.

- No se sabe con certeza el abrasivo adecuado para las aplicaciones que estén dentro del rango de funcionamiento de la máquina, costo beneficio, etc.

### **1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un sistema de aire comprimido y reutilizar una estación de sandblasting para limpieza de tuberías en la empresa INCOAYAM Cía. Ltda. Utilizando materiales disponibles.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Después de terminado este proyecto de grado se espera tener los siguientes resultados:

- Diseñar un sistema de aire comprimido que satisfaga las necesidades y requerimientos, reutilizando material disponible.
- Implementar el sistema de aire comprimido, optimizando tiempos de montaje con un procedimiento ordenado.
- Elaborar un plan de mantenimiento para el sistema de aire comprimido implementado, que garantice la disponibilidad de la instalación.
- Readecuar una estación de sandblasting existente, para utilizarla en la preparación superficial de tuberías multi diámetro, optimizando los recursos disponibles y generando procesos productivos eficientes.

#### **1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION.**

Además de lo mencionado en los antecedentes donde se puede percibir la importancia y justificación de implementar este proyecto en esta empresa, el trabajo aquí planteado es justificable que lo realice un futuro ingeniero mecánico por los siguientes motivos.

El diseño de sistemas de almacenamiento, transporte y distribución de fluidos, son actividades muy comunes que requieren en el mercado ser ejecutadas por ingenieros mecánicos, este es un caso donde se tendrá que aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos tanto en la universidad como en la vida profesional para juntarlos en un solo proyecto.

Como parte de nuestras actividades profesionales, en todo momento buscamos la eficiencia de máquinas y procesos. Este es un caso que se busca mejorar los tiempos de producción de productos y subproductos, abasteciendo correctamente los requerimientos del cliente interno, de esta manera poder aplicar filosofías “just in time” en la planta industrial.

En el diseño de los elementos del proyecto se reutilizaran y recuperaran materiales disponibles en la planta como la máquina de sandblasting, tuberías, accesorios, etc. La reutilización de materiales y maquinarias, es un área de la ingeniería mecánica muy importante, es parte de las 4r`s de la gestión de residuos (reducir, reciclar reutilizar y recuperar).



La implementación o construcción de un proyecto de este estilo requiere de una supervisión y control adecuado, en la práctica los ingenieros supervisores son los encargados de esta tarea. En este proyecto se podrá tener contacto con las diferentes actividades de los ingenieros mecánicos en el área laboral.

Este proyecto además busca crear procesos industriales amigables con el medio ambiente, esta es un área que se necesita implementar en las actividades de estudiantes y profesionales de cualquier profesión.

Los estudiantes y profesionales de la ESPE siempre buscan mejorar la calidad de los procesos deficientes, de esta manera se puede desarrollar la filosofía de calidad de “mejora continua”, de la cual este proyecto quiere ser base para la empresa Incoayam Cía. Ltda.

## **1.5. ALCANCE DEL PROYECTO**

- Diseño del sistema de aire comprimido para la planta industrial de la empresa INCOAYAM.
- Construcción y ensamble del sistema de aire comprimido diseñado.
- Implementación, puesta en marcha y realización de pruebas con los equipos disponibles en la planta.
- Realizar el plan de mantenimiento del sistema implementado.
- Rediseño y reacondicionamiento del módulo de sandblasting para limpieza de tuberías de múltiples diámetros y materiales.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. AIRE COMPRIMIDO**

El aire comprimido es una fuente de energía utilizada en gran cantidad de procesos en las industrias, ya que posee múltiples ventajas.

Aire comprimido es el aire atmosférico, el cual ha sido impulsado a una serie de tuberías por medio de un compresor hasta equipos o procesos que aprovechan la presión y caudal del aire para desarrollar sus funciones.

En la actualidad, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el empleo del aire comprimido. Este es el motivo por el cual los ramos industriales más variados utilizan aparatos neumáticos, cuya adecuada y continua alimentación garantizara un desempeño exitoso y eficiente de los procesos productivos.

El diseño y mantenimiento adecuado de las redes de aire comprimido y sus accesorios juega un papel protagónico en el desempeño y eficiencia de los procesos productivos donde se involucra la neumática.

### **2.1.1. EVOLUCION HISTORICA DEL AIRE COMPRIMIDO**

El ser humano, sin saberlo lleva representado en sus pulmones el compresor más antiguo de la historia y el más natural, pudiendo tratar 100 litros de aire por minuto o seis metros cúbicos por hora, ejercen una presión de 0.02 – 0.08 bar. En estado de salud normal, este compresor humano posee una seguridad inigualable, y los costos de funcionamiento son nulos.

La impulsión del aire para conseguir un fin útil figura inmersa desde épocas prehistóricas en las vivencias del hombre. Ejemplos: los cazadores utilizando la cerbatana para lanzar una flecha, la acción de soplar para encender y activar el fuego, etc.

Como primer compresor mecánico se puede citar el fuelle manual, que no fue inventado hasta el tercer milenio antes de Cristo, y el fuelle de pie, que no comenzó a emplearse hasta unos mil quinientos años antes de nuestra era.

Las primeras máquinas soplantes sirvieron para suministrar aire de combustión a los hornos de fundición y en la ventilación de explotaciones mineras. El conocimiento y las realizaciones empleando aire comprimido tomaron consistencia científica a partir de la segunda mitad del siglo XVII, cuando el estudio de los gases es el objeto de científicos como Torricelli, Pascal, Boyle, Mariotte, Gay Lussac, etc.

## **2.1.2. REDES DE AIRE COMPRIMIDO**

Existen varios pasos para el diseño de redes de aire comprimido, el primero es determinar los requerimientos de aire.

### **2.1.2.1. Determinación de la necesidad de aire comprimido**

Al momento de determinar y calcular las necesidades de aire comprimido de un lugar de trabajo, no simplemente se suman los consumos individuales de los equipos y herramientas neumáticas, sino también otros factores son tomados en cuenta tales como:

#### **2.1.2.1.1. Factor de Simultaneidad**

Este factor de simultaneidad (**fs**) es un valor empírico, que está basado en la experiencia de la utilización de los equipos y herramientas neumáticas de una forma simultánea, eso quiere decir al mismo tiempo.

El factor de simultaneidad ajusta el consumo de aire teórico a un consumo de aire en condiciones reales. El factor de simultaneidad es un valor numérico mayor a cero, y menor o igual a 1, que se puede calcular siguiendo un estudio estadístico del uso de herramientas y equipos neumáticos durante un periodo de tiempo, sin embargo existen tablas de factores de simultaneidad modelos dependiendo del número de dispositivos de consumo como la siguiente.

**Tabla 2.1 Factor de Simultaneidad**

Cantidad de dispositivos de consumo	Factor de Simultaneidad Fs.
1	1.00
2	0.94
3	0.89
4	0.86
5	0.83
6	0.80
7	0.77
8	0.75
9	0.73
10	0.71
11	0.69
12	0.68
13	0.67
14	0.65
15	0.64
16	0.63

Fuente: Compendio de Aire Comprimido BOGUE

#### 2.1.2.1.2. Factor de Utilización

Muchos de los dispositivos de aire, tales como herramientas, pistolas de limpieza, sopleteadoras, pistolas de pintura, entre otros no tienen un uso continuo, son dispositivos utilizados según la necesidad del momento, por este motivo se requiere determinar un factor de utilización (fu).

El factor de utilización es calculado en un tiempo referencial versus el tiempo de utilización de esas herramientas dentro de ese lapso. La siguiente ecuación es utilizada para determinar el factor de utilización:

$$Fu = \frac{Tu}{Tr} \quad \text{Ecuación (2.1) Factor de Utilización}$$

Dónde:

Fu= Factor de utilización (adimensional)

Tr= Tiempo referencial (min)

Tu= Tiempo de utilización (min)

Además se deben tomar en cuenta consideraciones y criterio para aplicar finalmente este factor.

#### 2.1.2.1.3. Factor de Fugas

El factor de pérdida por fugas y fricción ocurre en todas las partes del sistema neumático, desde el generador y sus conexiones, la red de aire y sus accesorios hasta el suministro de aire en los dispositivos de filtro, regulación, etc. Los sistemas nuevos requieren considerar un factor de al menos 5% sobre el cálculo de la necesidad de aire. Para sistemas más antiguos se debe considerar un factor de al menos 25%.

#### 2.1.2.1.4. Factor de expansión

El diseño de una red de aire comprimido no se realiza solamente basado en la demanda actual, generalmente las redes de aire comprimido suelen aumentar su demanda con el tiempo, por este motivo se agrega este factor de expansión, que es un valor empírico que depende básicamente de la proyecciones a futuro que se tenga de la red de aire comprimido.

#### 2.1.2.1.5. Factor de Error

Se puede considerar un margen de error ya que a pesar del cuidado que se tenga al momento de realizar los cálculos, se podría incurrir en errores humanos, por esto se puede considerar entre un 5 y 15% de error en el cálculo de la necesidad de aire comprimido.

#### 2.1.2.1.6. Correcciones por altitud

La altitud tiene relación con la capacidad de entrega de caudal útil por parte de la unidad compresora o de suministro de aire, por esto para un cálculo correcto y más real de necesidad de aire se deberá realizar las correcciones dependiendo de la altitud del lugar donde se instalara la red de aire comprimido. El caudal que entrega el compresor según el catalogo corresponde generalmente a condiciones ambientales estándar a nivel del mar. La densidad del aire a diferentes alturas varía como se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 2.2 Densidad de Aire vs Altura**

Altitud (metros)	Valores de la densidad del aire ambiente		
	Mínimo (kg/m <sup>3</sup> )	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Máximo (kg/m <sup>3</sup> )
0	1,1405	1,2254	1,3167
305	1,1101	1,1886	1,2735
610	1,0812	1,1533	1,2302
914	1,0524	1,1197	1,2222
1000	1,0444	1,1101	1,1902
1219	1,0252	1,0861	1,1501
1524	0,9996	1,0556	1,1133
1829	0,9739	1,0236	1,0764
2000	0,9595	1,0076	1,0572
2134	0,9483	0,9931	1,0412
2438	0,9243	0,9643	1,0060
2743	0,8986	0,9355	0,9723
3000	0,8794	0,9115	0,9467
3048	0,8762	0,9082	0,9419

Fuente: inti.gov.ar

La densidad del aire es igual a:

$$d = \frac{m}{v} \text{ Ecuación (2.2) Densidad}$$

Dónde:

d= densidad del aire kg/m<sup>3</sup>

m=masa de aire kg

v= volumen de aire m<sup>3</sup>

A diferentes alturas la masa del aire se mantendrá constante mientras el volumen que lo contiene será el que variara, a mayor altitud mayor volumen, por lo tanto menor densidad, es una relación inversamente proporcional.

$$V_2 = \frac{d_1 \cdot v_1}{d_2} \text{ Ecuación (2.3)}$$

Dónde:

d1=Densidad del aire a 0 msnm, kg/m<sup>3</sup>

v1=Volumen de aire a 0 msnm, m<sup>3</sup>

d2= Densidad del aire a la altura de la instalación, kg/m<sup>3</sup>

v2= Volumen de aire a la altura de la instalación, m<sup>3</sup>

Esta última ecuación es la que se debe utilizar para la corrección por altura.

### 2.1.2.2 Dimensionamiento de la red

Previo al dimensionamiento de una red de aire comprimido se tiene que considerar parámetros importantes, teniendo en cuenta que las tuberías con



diámetros demasiado pequeños provocarían altas pérdidas de presión que se deberán compensar con una alta compresión para garantizar de esta manera el correcto funcionamiento de los equipos de consumo, lo que elevaría ineficientemente los costos de la instalación.

### **Factores de influencia en el cálculo del diámetro interno de la red:**

- **Volumen de flujo (caudal)**

Se debe asumir el máximo caudal de aire que pasara por la tubería. Aumentar las pérdidas de presión tiene un fuerte impacto cuando los requerimientos de aire comprimido están al máximo.

- **Longitud efectiva de Tubería**

La longitud de tubería se debe determinar con la mayor precisión que fuera posible. Los accesorios como codos, tees, uniones, etc. Son inevitables en las redes de aire comprimido, en estos casos de debe calcular con la longitud efectiva equivalente.

- **Máxima caída de presión admisible**

La caída máxima de presión admisible en una instalación de aire comprimido eficiente no puede sobrepasar 0.1 bar, desde la instalación del compresor, hasta el punto de suministro de aire que este más alejado del compresor en el sistema.

En la siguiente tabla se presentan caídas de presión admisibles recomendadas, para las diferentes etapas o secciones de la red.

**Tabla 2.3 Caída de Presión Admisible Recomendada**

Secciones individuales de la red	$\Delta p$ admisible (bar)
Línea Principal	0.04
Línea de Distribución	0.04
Línea de Conexión	0.03

Fuente: Compendio de Aire Comprimido BOGE

- **Calculo del diámetro interno de tubería.<sup>1</sup>**

El diámetro adecuado de las tuberías será aquel que posibilite las condiciones más aceptables de trabajo en el sistema de aire comprimido dentro de los parámetros de funcionamiento normal como son:

- Flujo subsónico.
- Niveles correctos de velocidad de flujo
- Niveles admisibles de pérdidas de presión.

Mientras mayor es el diámetro de la tubería, mejoran las condiciones de trabajo del aire comprimido pero paralelamente a esto el costo y el peso de la tubería aumentan creando condiciones adversas.

Por esta razón el dimensionamiento de la tubería requiere de un análisis tanto técnico como de factibilidad económica por parte del diseñador.

Para el cálculo del diámetro de la tubería (D) se recomienda utilizar la siguiente ecuación:

$$D \geq \left( \frac{0,07 * Q^{1,85} * L}{P_{perdidas} * P * \Delta P} \right)^{\frac{1}{5}} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Dónde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

Pperdidas: Pérdidas de presión en bar.

Px: Presión de salida del compresor en bar.

$\Delta P$ : Variación de presión admisible en bar.

Generalmente se considera dimensionar el Diámetro de la tubería de tal manera que las pérdidas de presión en la red sean menores al 10%, en tal virtud la ecuación de cálculo sería la siguiente:

$$D \geq \left( \frac{0,07 * Q^{1,85} * L}{(Px)^2 * \Delta P} \right)^{\frac{1}{5}} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Dónde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

Px: Presión de salida del compresor en bar.

$\Delta P$ : Diferencia de presión admisible en bar.

Para cuando el diámetro resultante sea mayor a 1 pulgada luego de aplicar fórmula anterior, conviene recalculer el diámetro usando la siguiente ecuación:

$$D \geq \left( \frac{0,07 * Q^{1,85} * L}{(Px)^2 * \Delta P} \right)^{\frac{1}{3,5}} \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

Para el dimensionamiento de la tubería se dispone adicionalmente Nomogramas, mediante los cuales se calcula el diámetro adecuado de la tubería dentro de los parámetros admisibles de pérdidas, y adaptando dicho diámetro a medidas comercialmente disponibles en el mercado.

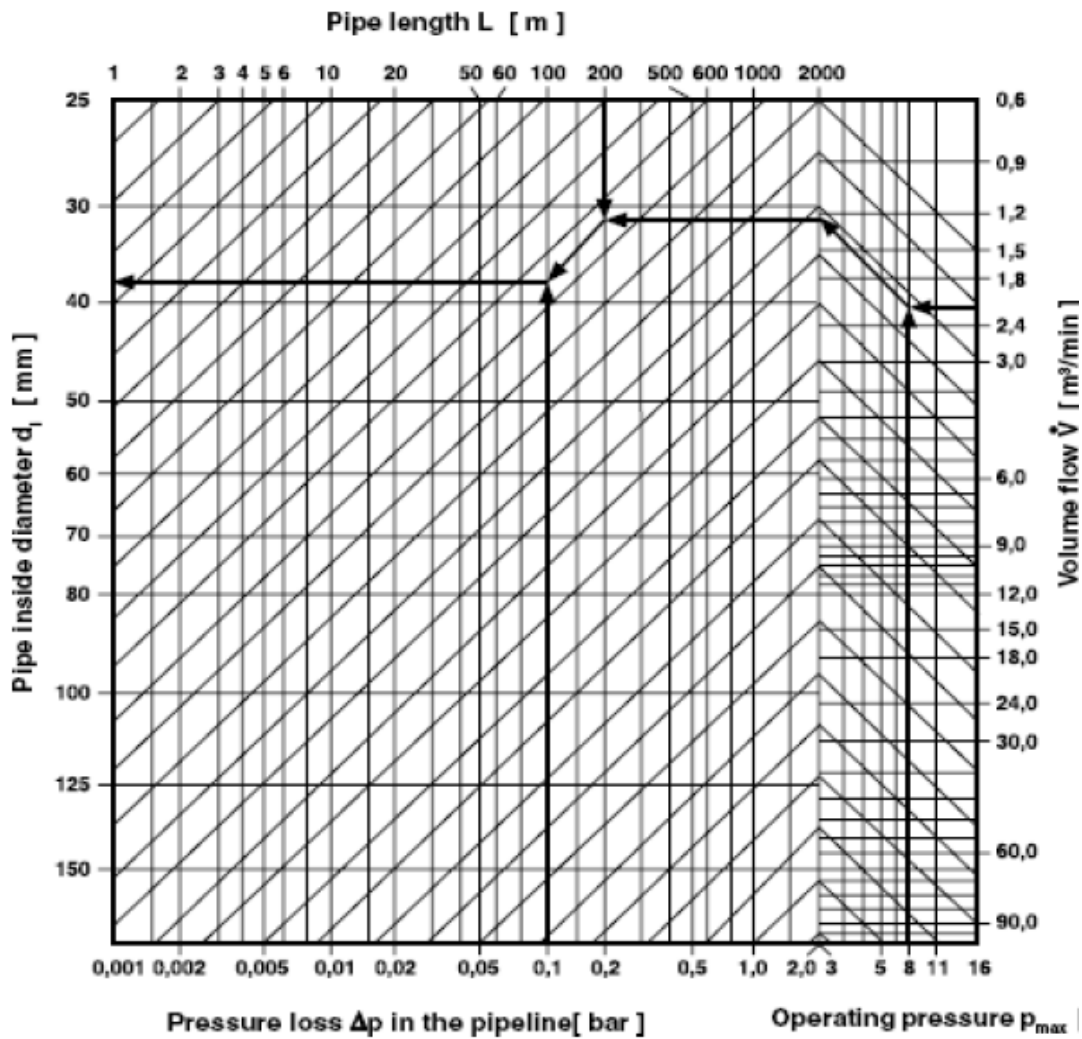


Fig. 2.1 Nomograma<sup>2</sup>

- **Calculo del espesor de la tubería**

El espesor de la tubería para aplicaciones de aire comprimido está en función de la presión de salida del compresor, del diámetro de la tubería y del material de la misma, para el cálculo se usa la siguiente ecuación:

$$e \geq \left( \frac{P^x * D}{80 * \sigma} \right) \text{ Ecuación (2.7)}$$

<sup>2</sup> Ilustración tomada de: BOGE. Compendio Aire Comprimido

Dónde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

e: Espesor en milímetros.

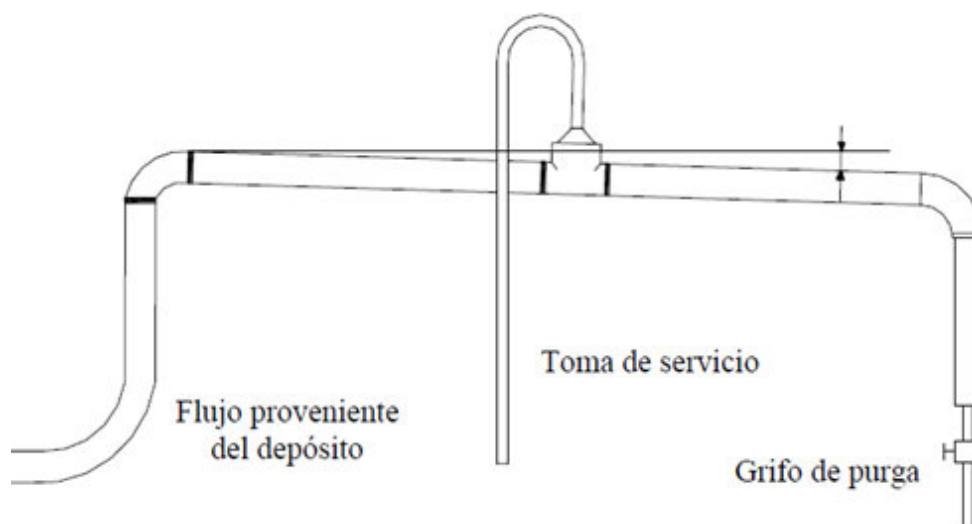
$\sigma$ : Límite de fluencia del material de la tubería en kgf/cm<sup>2</sup>

### **2.1.2.2. Tendido de la red de aire comprimido.**

En las redes de distribución del aire comprimido, no solo es importante el correcto dimensionamiento, sino también la correcta instalación de lo diseñado, por lo que se recomienda se tomen en cuenta lo siguiente:

- Las tuberías precisan de una vigilancia y de un plan de mantenimiento regular, por lo que no se deberán instalar en emplazamientos sin acceso, demasiado angostos, ya que eso dificultaría la detección y reparación de cualquier avería como fugas.
- Evitar que las tuberías se entremezclen con conducciones eléctricas.
- Dimensionar ampliamente las tuberías de modo que sean capaces de absorber futuros aumentos de demanda sin una excesiva pérdida de carga. El costo adicional de una tubería algo sobredimensionada puede resultar insignificante frente al gasto originado si la red ha de renovarse antes de amortizarla completamente.
- Los acometidos o derivaciones desde la línea principal hacia los servicios deberán tener forma de bastón e igualmente en su parte baja disponer de recolectores y purgas de condensado. (Fig. 2.2 Cuello de Cisne)
- Las tuberías deben tener una inclinación del 1 al 4% en el sentido del flujo del aire comprimido y colocar en su extremo más bajo un ramal de bajada con purga. Esto evita la acumulación de condensado en las cañerías.

- Si por cuestiones de dificultades para lograr este fin se deben ubicar válvulas de purga en lugares estratégicos para lograr desalojar agua excedente en las líneas principales.
- Las tuberías verticales de las redes de aire comprimido igualmente deben disponer de una derivación con recolectores y purgas de condensado.
- Colocar llaves de paso en los ramales principales y secundarios a fin de facilitar la reparación y mantenimiento sin poner fuera de servicio toda la instalación.
- La instalación debe ser accesible al chequeo y mantenimiento tratando en lo posible que el montaje de la red sea aéreo, esto facilita tareas de inspección y mantenimiento. Evitar tuberías subterráneas, pues la imposibilidad de evacuar los condensados hace que la corrosión actúe sobre los caños.
- En el trazado de la red, elegir los recorridos más cortos, propendiendo tramos rectos; así como evitar cambios bruscos de dirección, reducciones de sección, piezas en T, etc., que sean innecesarios, a modo de producir la menor pérdida de carga.

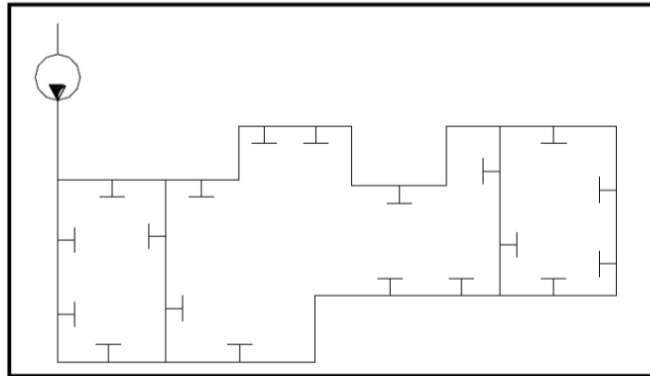


**Fig. 2.2 Cuello de Cisne<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> Ilustración tomada de: BOGE. Compendio Aire Comprimido

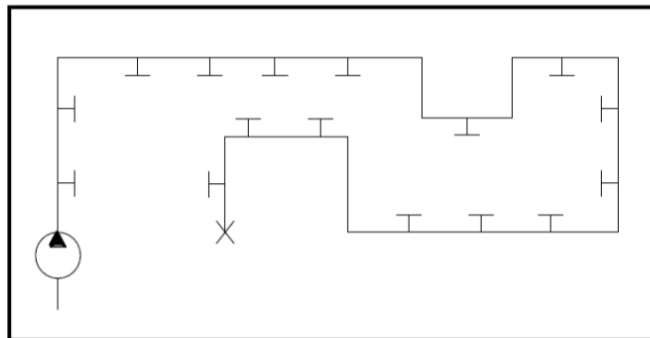
- Para el tendido de la red principal se adoptan tres sistemas:

**Circuito cerrado:** se usa en instalaciones con consumos intermedios o altos, su tendido forma un anillo donde la presión se mantiene más uniforme.



**Fig. 2.3 Red de Aire Comprimido Cerrado**

**Circuito abierto:** Se usa en instalaciones de bajo consumo. Su tendido es lineal, la unidad de compresión se conecta en un extremo de la línea, y el otro extremo es cerrado.



**Fig. 2.4 Red de Aire Comprimido Abierto**

**Redes Mixtas:** están formadas por una red cerrada de la que se derivan varias redes abiertas.

En una red de aire comprimido comúnmente se encuentran tres tipos de tubería:

- **Tubería Principal**

Es la línea que conduce el aire comprimido desde la unidad compresora hasta las áreas de consumo. Esta debe tener el mayor diámetro posible para evitar caídas de presión y prever futuras ampliaciones de la red con el consecuente aumento de caudal. Velocidad máxima admisible: 8 m/seg.

- **Tubería Secundaria**

Es la línea que distribuye el aire comprimido dentro del área de consumo. El caudal que allí circula es asociado a los elementos neumáticos alimentados exclusivamente en esta tubería. También en el diseño se deben prever posibles ampliaciones en el futuro. Velocidad máxima admisible 10 a 15 m/seg. Las caídas de presiones tanto en la tubería principal como en las tuberías secundarias no deberían ser mayores a 0,07 bar.

- **Tubería de Servicio**

Son aquellas líneas que llevan el aire desde la tubería de distribución hasta el punto de trabajo. En sus extremos se pueden colocar las unidades de mantenimiento, según los requerimientos de calidad de aire que se necesite en ese punto de trabajo, además se instala acoples rápidos. Velocidad máxima admisible entre 15 a 20 m/seg. La caída de presión admisible en estas tuberías es de 0.03 bar.

### **2.1.3. MATERIALES DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO**

Los sistemas de aire comprimido normalmente no tienen definido un solo material para su instalación, los materiales que se pueden utilizar para las instalaciones de aire comprimido son los siguientes:



- Cobre
- Tubo de acero negro (Rosado y Soldado)
- Acero Inoxidable
- Latón
- Plástico (Polietileno, Polipropileno)
- Acero Galvanizado

Para la selección del material se debe considerar los siguientes criterios:

-Resistencia a la corrosión: es una de las principales consideraciones a tomar en cuenta, debido a las condiciones ambientales de la zona y tomando en cuenta la humedad interna debido a los condensados del aire comprimido.

-Máxima temperatura de operación: es el comportamiento de los materiales a la variación de la temperatura. En altas temperaturas pierden resistencia a la tensión y en bajas temperaturas pueden ser frágiles.

-Bajos costos de instalación: Los costos de instalación puede reducirse utilizando prefabricados y conexiones rápidas.

A continuación se presenta una descripción de los materiales utilizados comúnmente, con principales ventajas y desventajas.

#### **2.1.3.1. Tubería de acero al carbono – roscada**

La tubería de acero al carbono, con extremos roscados para las conexiones fueron ampliamente utilizados en los sistemas neumáticos para transporte de aire sin una mayor calidad y comúnmente en diámetros exteriores menores a 170mm.

La tubería roscada puede ser sin recubrimiento o puede ser galvanizada. En sitios de alta humedad se recomienda la utilización de tubería galvanizada para evitar la corrosión.

Ventajas:

- La tubería roscada es económica.
- El sistema es de fácil instalación. Los accesorios y válvulas que se utilizan para el montaje y desmontaje permiten una facilidad para modificaciones en la ruta y pueden ser reutilizadas.

Desventajas:

- Las tuberías roscadas ofrecen una alta resistencia al flujo por las rugosidades de la pared interna de la tubería y por las discontinuidades en las uniones.
- Se tiene alta probabilidad de fugas en las uniones roscadas.
- Para la instalación se requiere de personal experimentado en montaje de este tipo de conexiones, lo que aumenta el costo de mano de obra.
- La tubería roscada sin galvanizar no es recomendable para sistemas de aire que no disponga de un secador, ya que el material se oxidaría muy rápidamente por la humedad del aire.

#### **2.1.3.2. Tubería de acero al carbono – soldada**

La tubería de acero al carbono es ampliamente utilizada en redes de tubería principales y de distribución. Este material puede ser utilizado con o sin tratamiento galvanizado. Requiere de soldadura para las conexiones, que pueden ser bridadas o soldadas.

Ventajas:

- Se puede utilizar en diámetros mayores.
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas.

- La tubería es económica y se dispone de accesorios y válvulas para el montaje.

Desventajas:

- Se requiere de personal experimentado y calificado en soldadura de acero, el método de soldadura normalmente utilizado es SMAW.
- El montaje se demora más y requiere comodidad y espacio.
- Utiliza más cantidad de herramientas.
- La tubería soldada sin galvanizar no es recomendable para sistemas de aire que no disponga de un secador, ya que el material se oxidaría muy rápidamente por la humedad del aire.

### **2.1.3.3. Tubería de acero inoxidable**

La tubería de acero inoxidable es solamente utilizada en redes neumáticas que requieran un aire de alta calidad. Comúnmente es utilizada en hospitales, industria alimenticia, industria química e industria farmacéutica.

Ventajas:

- Se puede utilizar en diámetros mayores.
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas.
- Se dispone de accesorios y válvulas para el montaje.

Desventajas:

- Costo de materiales alto.
- Se requiere de personal experimentado en soldadura en acero inoxidable para el montaje, el método de soldadura es la TIG, proceso de soldadura con costos de consumibles, mano de obra, alto.
- Tiempo de instalación alto.

#### **2.1.3.4 Tubería de cobre**

Se utiliza cuando la red de aire comprimido presenta requerimientos especiales requeridos en hospitales, industrias químicas y en plantas de producción de alimentos.

Ventajas:

- Facilidad en la instalación.
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas.
- Buena resistencia a la corrosión y oxidación.

Desventajas:

- Costo alto de materiales y consumibles.
- Limitación en variedad de diámetros en el mercado.
- Requiere de experiencia y habilidad del soldador.

#### **2.1.3.5 Tuberías Plásticas**

Tubería Plástica, actualmente es muy utilizada para esta aplicación, existen una gran variedad de plásticos con aplicaciones industriales, los más utilizados para esta aplicación es el PE (Polietileno), PP (Polipropileno), y aleaciones de PVC (Cloruro de polivinilo).

Ventajas:

- Instalación sencilla
- Buena unión, alta estanqueidad.
- La tubería es económica y se dispone de accesorios y válvulas.
- Muy baja rugosidad.
- Manejable, gran ligereza.
- No se afecta por corrosiones ambientales, ni por los condensados del fluido.

Desventajas:

- No se debe instalar cuando el sistema presente vibraciones.
- Resistencia mecánica inferior a los metales.
- Suele instalarse con protecciones metálicas en zonas de riesgos de impacto, lo que aumenta costos de instalación.

### 2.1.3.6 Comparación de materiales

En esta sección se presenta una comparación donde se analiza mediante una tabla las propiedades de algunos materiales en las instalaciones de aire comprimido.

**Comparación entre tubos de diversos materiales**

Círculo completo = muy adecuado  
Semicírculo = suficiente  
Cuarto de círculo = con limitaciones

Material del tubo	Acero	Cobre	Acero inox.	Plástico
Presión superior a 12 bar	●	●	●	◐
Corrosión, calidad del aire	◑	◑	●	●
Temperatura hasta 20 °C	●	●	●	●
Temperatura hasta 50 °C	●	●	●	◐
Características de flujo	◑	●	●	●
Trabajo de montaje	◑	◑	◑	●
Masa por unidad de longitud	◑	◑	◑	●
Trabajo de mantenimiento	◑	●	●	●
Diámetro en 100 metros	◑	◑	●	●
Disponibilidad de válvulas y racores	●	◑	◑	●

**Fig. 2.5 Comparación de Materiales de Tuberías.<sup>4</sup>**

<sup>4</sup> HEESE. (2002). Aire Comprimido, Fuente de energía. Festo AG & Co, 2002

#### **2.1.4. FUGAS.**

Las fugas en sistemas de aire comprimido en la mayoría de los casos pasan desapercibidas. Por lo que se hace difícil identificar en que tramos o uniones se presentan estas.

##### **2.1.4.1. Fugas en sistemas de aire.**

Tener fugas en una red de aire comprimido es inevitable, y no llaman la atención cuando estas representan un 5% de la demanda de la planta, sin embargo este valor es muy sensible ya que puede representar una gran cantidad de energía, y dinero desperdiciada. Recordemos que el aire comprimido es una fuente de energía, la cual tiene un costo elevado de producción, por lo que ajustar el porcentaje de fugas al mínimo sería muy representativo a corto plazo.

El caudal total que circula en los compresores de aire es una función de la carga del equipo, más las fugas. Las fugas de aire comprimido son la mayor y más importante fuente de desperdicio de energía en la mayoría de estos sistemas.

##### **2.1.4.2. Cálculo de costo de fugas.**

El volumen de perdidas aumenta con la presión y las horas de operación del sistema, también las pérdidas de aire aumentan en función directamente proporcional al cuadrado del diámetro del agujero. El costo que representan las fugas en un cierto sistema de aire se la puede encontrar numéricamente multiplicando la cantidad de aire desperdiciado, por la energía necesaria para comprimirlo a la presión del sistema, y por el costo de la energía:

$$\text{Costo (US\$)} = \left[ \frac{m^3}{\text{min}} \right] * \left[ \frac{KW}{m^3/\text{min}} \right] * [t(h)] * \frac{US\$}{KWh} \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

Sin embargo este procedimiento es indirecto e inexacto, ya que hay que estimar el número y tamaño de fugas.

La reparación de fugas es una operación sencilla y barata que debería ser parte del mantenimiento, pero suele olvidarse.

#### **2.1.4.3. Reducir fugas de aire**

Para reducir el porcentaje de las fugas de una red de aire comprimido se recomienda:

- Un programa de mantenimiento preventivo y predictivo permanente sobre los accesorios que comprenden la red de aire comprimido.
- Reemplazo de válvulas y accesorios por deterioro.
- Utilizar acoples de manguera en buen estado y de buena calidad.
- Reducir el número de accesorios que componen la red de aire comprimido (tees, codos, neplos, etc.)
- Eliminar condensado de la red de aire comprimido, así como partículas sólidas que aumenten el deterioro de los accesorios (filtros, lubricador, válvulas, etc.)

#### **2.1.5. FUNDAMENTOS FISICOS DEL AIRE**

##### **2.1.5.1. Peso específico**

Es el peso por unidad de volumen. Para el aire =  $1.293 \text{ kg/m}^3$  a  $0^\circ\text{C}$  y una atmosfera de presión.

### 2.1.5.2. Volumen específico

Es el volumen de la unidad de peso. Para el aire =  $0.773 \text{ m}^3/\text{kg}$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  y una atmosfera de presión. Es igual al inverso del peso específico.

### 2.1.5.3. Temperatura Absoluta.

Esta temperatura se define teniendo como base el cero absoluto. Cero absoluto=  $-459^\circ\text{F}$  o  $-273.15^\circ\text{C}$ . El cero absoluto es aquella temperatura que se presentaría en el caso de que todo el calor se remueva del material o la temperatura a la cual teóricamente el volumen del gas sería cero.

### 2.1.5.4. Presión Absoluta

Es la fuerza aplicada por unidad de superficie, es el cociente entre fuerza y la superficie que recibe su acción, es decir:

$$P = \frac{F}{A} \text{ Ecuación (2.9)}$$

Dónde:

P: presión

F: Fuerza (Kg)

A: Área ( $\text{cm}^2$ )

### 2.1.5.5. Presión atmosférica

La presión atmosférica normal (o altura barométrica normal) es la presión de una columna de mercurio de 760mm de altura a nivel del mar.



### 2.1.5.6. Presión relativa

Todos los cuerpos están sometidos a una presión atmosférica. La diferencia entre presión absoluta y la atmosférica es la generalmente se emplean en los cálculos; la miden los manómetros y generalmente la denominamos presión relativa.

$$p = P - P_{atm} \text{ Ecuación (2.10)}$$

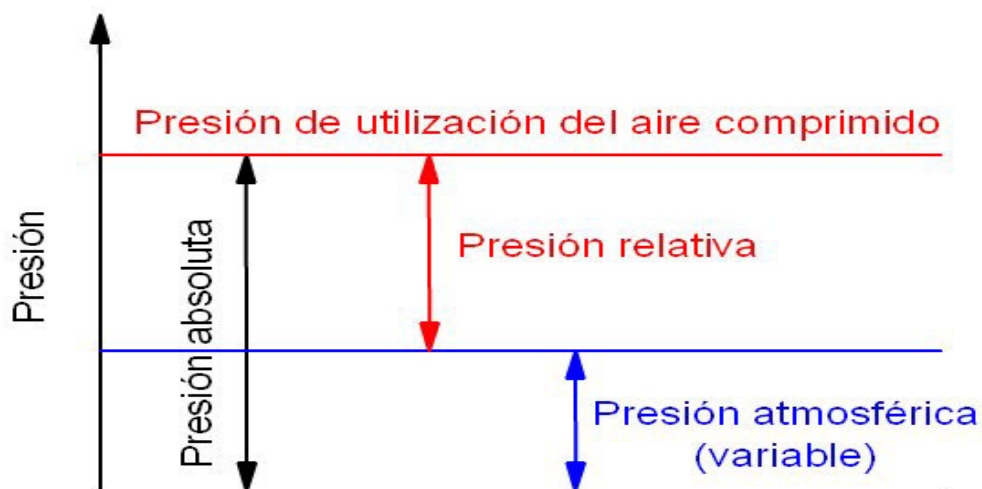


Fig. 2.6 Presión Relativa.<sup>5</sup>

### 2.1.5.7. Caudal

Se puede definir como la cantidad de fluido que pasa por un conducto en una unidad de tiempo.

$$Q = V/t \text{ Ecuación (2.11)}$$

Dónde:

Q: Caudal

V: Volumen

T: tiempo

<sup>5</sup> Ilustración tomada de: <http://www.portaleso.com>

Existen dos formas de expresar el caudal de fluidos:

- Caudal másico. Cantidad de masa de un fluido que pasa por una sección en unidad de tiempo.
- Caudal volumétrico. Cantidad de fluido que pasa por una sección en una unidad de tiempo.

En ambos casos está relacionado con la densidad del fluido, que en los gases es variable con la presión y la temperatura. Cuando se habla de caudal de aire libre, es decir caudal volumétrico referido a la atmosfera normal de referencia (ANR) nos estamos refiriendo a un caudal másico.

#### **2.1.5.8. Calor**

Es la manifestación de la energía que provoca variaciones en algunas propiedades físicas de los cuerpos. El calor pasa de un cuerpo caliente a otro frío hasta que ambos adquieren la misma temperatura.

#### **2.1.5.9. Temperatura**

Es el fenómeno físico que se produce por acción del calor en los cuerpos, calor es lo que produce el aumento de la temperatura.

#### **2.1.5.10. Altitud**

La altitud es importante cuando hablamos de compresores puesto que el aire llega a ser menos denso a mayor altura sobre el nivel del mar y la presión absoluta es por lo tanto menor. Puesto que el aire es menos denso a mayor altitud, el efecto de enfriamiento sobre los motores es menor, imponiendo un límite a la altura a la cual un motor puede ser operado sobre el nivel del mar.

### 2.1.6. GASES PERFECTOS

Un gas perfecto es aquel en el que no actúan fuerzas de cohesión entre porciones de gas y cuyas moléculas se analizan como puntos materiales que no poseen volumen.

En un estado muy aproximado al estado en el que se encuentra un gas perfecto se encuentran muchos gases, cuando las condiciones de presión y temperatura no exceden de ciertos valores críticos lo cual es común en el caso de los compresores. Por lo tanto cuando se analizan los compresores se pueden considerar los gases como perfectos este es el caso por ejemplo del aire. Los gases perfectos cumplen con las siguientes leyes cuando el gas pasa de un estado 1(P1, V1, T1) a un estado 2. (P2, V2, T2).

En realidad no hay ningún gas perfecto, sin embargo el aire, el oxígeno, el nitrógeno, helio y otros gases se comportan, con bastante aproximación, como si fuesen gases perfectos. Todo gas se acerca a este estado ideal conforme su temperatura crece y su presión disminuye, esto es que a medida que se recalienta o se aleja de aquel estado en el cual puede condensarse convirtiéndose en líquido.

Adicional a estos conceptos un gas es perfecto cuando sigue exactamente las leyes de Boyle- Mariotte de Gay – Lussac y de Charles.

#### 2.1.6.1. Ley de Boyle-Mariotte

A temperatura constante, el volumen ocupado por una masa gaseosa invariable está en razón inversa de su presión, es decir, que en tales circunstancias se verifica que presión por volumen es constante.

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \text{ Ecuación (2.12) Ley de Boyle-Mariotte}$$

T: Temperatura (Cte)

P: Presión

V: Volumen

Las líneas que unen los estados – puntos que se hallan a la misma temperatura se denominan isotermas o isotérmicas del gas, siendo su curva representativa la de una hipérbola equilátera sobre el plano P-V.

### 2.1.6.2. Ley Gay-Lussac

A presión constante, el volumen ocupado por una masa dada de gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

$$\frac{V}{T} = Cte$$

También:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{Ecuación (2.13) Ley de Gay-Lussac}$$

P:Cte

P1,P2 (absolutas).

Dichas transformaciones se denominan isobáricas o isóbaras del gas, siendo su línea representativa, sobre el plano PV, una paralela a V. Esto se comprende fácilmente pues tanto más se dilata un gas cuando más aumenta su temperatura.

### 2.1.6.3. Ley de Charles

A volumen constante, la presión absoluta de una masa de gas dada, es directamente proporcional a las temperaturas absolutas, esto es:

$$\frac{P}{T} = Cte$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{Ecuación (2.14) Ley de Charles}$$

V: cte.

P1,T1,P2,T2 (Absolutas)

Las curvas que unen los estados-puntos que tienen el mismo volumen específico se denominan isocoras, isópteras o isopléricas. En un gas perfecto, las isócoras son líneas rectas verticales sobre el plano PV.

#### 2.1.6.4. Ecuación de estado Para los Gases Perfectos

La temperatura, el volumen y la presión se relacionan de la siguiente manera:

$$\frac{P * V}{T} = R$$

Expresión que constituye la ecuación de estado de los gases perfectos o ecuación de Clapeyron, simbolizando R la constante universal de los gases perfectos o ideales. En los casos que intervienen dos estados es más cómoda para los cálculos la forma homogénea de la ecuación, es decir.

$$\frac{P1*V1}{T1} = \frac{P2*V2}{T2} \text{ Ecuación (2.15) Ecuación de estado para los gases perfectos.}$$

La constante de gas R es diferente para cada gas y se determina de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{Ru}{M} \text{ Ecuación (2.16) Cálculo de la constante R de un gas}$$

Dónde:

R: Constante [ Kpa. m<sup>2</sup>/(Kg.°K)]

M: masa molar del gas [Kg/mol]

Ru: Constante de gas universal, es la misma para todas las sustancias y su valor es:

RU =	10.73 psia . pie <sup>3</sup> /(lbmol.R)
	1545 pie lbf /(lbmol.R)
	1.986 Btu/(lbmol.R)
	0.08314 bar.m <sup>3</sup> /(Kmol.K)
	8.314 KPa.m <sup>3</sup> /(Kmol.K)
	8.314 K/(Kmol.K)

**Fig. 2.7 Constante R del Aire en Varias Unidades**

### 2.1.7. COMPRESORES

El compresor aspira aire de la atmósfera y lo comprime en un volumen más pequeño, almacenándolo después en un depósito llamado tanque pulmón, para después ser utilizado por equipos o herramientas neumáticas.

Los compresores pueden ser usados para aumentar la presión o flujo de un gas (aire, amoníaco, nitrógeno, etc.). A veces esto es intermitente (un taller, planta procesadora pequeña, etc.) a veces continuo (bombeo de gasoductos, embotelladoras de gaseosas o cerveza, envases plásticos, etc.).

Básicamente, hay cinco tipos de compresores de aire que se emplean en la industria, que se agrupan a su vez dentro de dos grandes familias: compresores de desplazamiento positivo y compresores dinámicos.

Los tipos principales de compresores utilizados en la industria se clasifican de la siguiente manera:

- Compresores de desplazamiento positivo
  - Rotativos
    - Lóbulos
    - Tornillo
    - Paletas
  - Alternativos

- Dinámicos
  - Centrifugo
  - Flujo Axial

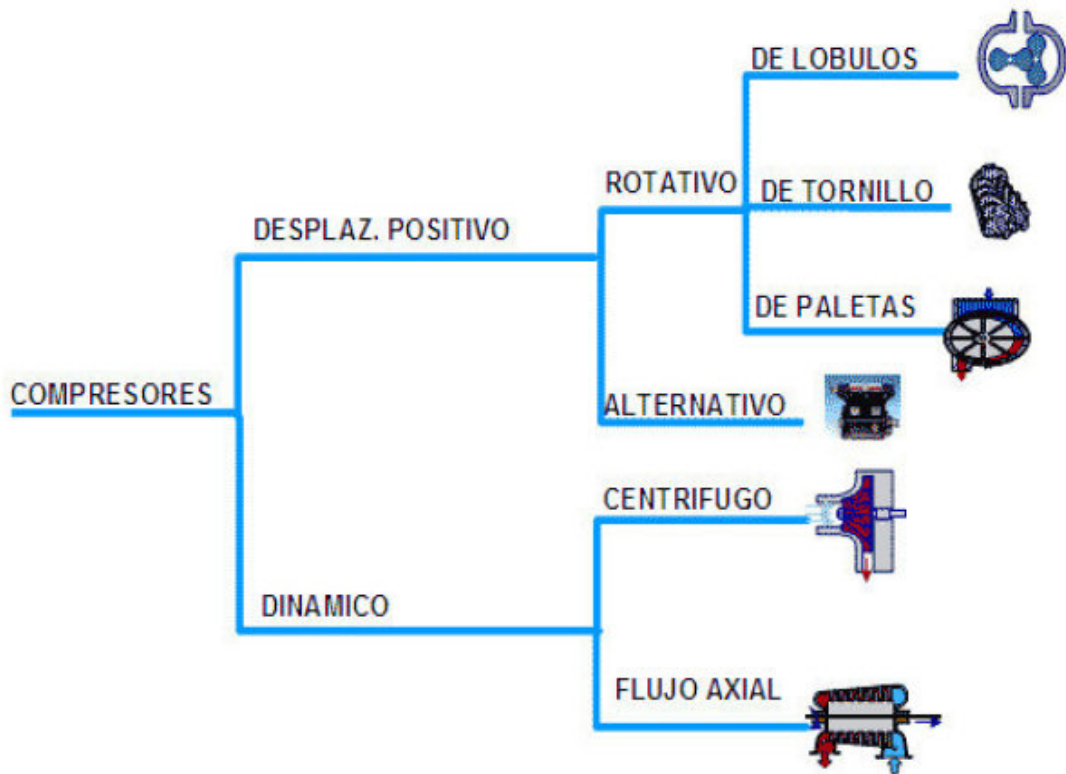


Fig. 2.8 Tipos de Compresores<sup>6</sup>

#### 2.1.7.1. Compresores de desplazamiento positivo

Estos compresores son los más comunes y más utilizados; el incremento de presión se obtiene introduciendo un volumen de gas, en un espacio determinado, que posteriormente es reducido por elementos mecánicos. Estos compresores se pueden dividir a su vez en: Rotativos y Alternativos.

<sup>6</sup> Ilustración tomada de: widman.biz

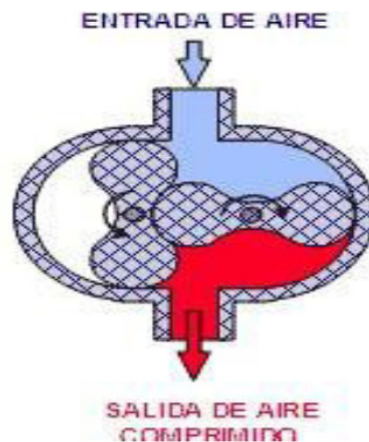
### 2.1.7.1.1. Compresores Rotativos de lóbulos.

Este tipo de compresores no tienen válvulas de aspiración o descarga, la compresión tiene lugar en el tanque posterior debido a las sucesivas entregas de aire.

Características:

- Producen altos volúmenes de aire seco a baja presión.
- Posee pocas piezas en movimiento.
- No requieren lubricación.
- No hay contacto entre lóbulos, ni de estos con la carcasa.
- Enfriamiento por Aire.

Principio de Operación: Dos rotores idénticos y usualmente simétricos giran en direcciones opuestas, dentro de una carcasa cilíndrica impulsando continuamente volúmenes iguales de aire.



**Fig. 2.9 Compresor de Lóbulos<sup>7</sup>**

### 2.1.7.1.2. Compresores Rotativos de Tornillo

Los compresores de tornillo tienen dos tornillos engranados que rotan paralelamente con un juego o luz mínima, sellado por la mezcla de aire y aceite.

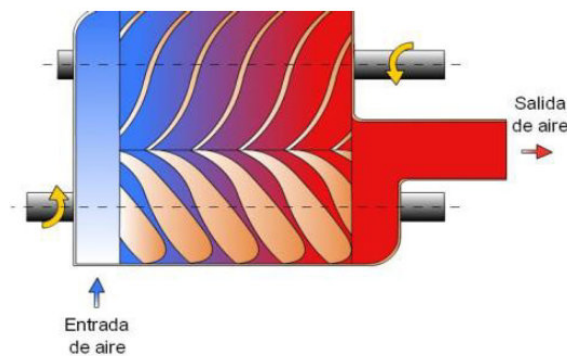
<sup>7</sup>Ilustración tomada de: widman.biz



Características:

- Flujo continuo de aire
- Fácil mantenimiento
- Silencioso

Principio de Operación: Al girar los tornillos, el aire entra por la válvula de admisión con el aceite. El espacio entre los labios es progresivamente reducido al correr por el compresor, comprimiendo el aire atrapado hasta salir por la válvula de salida.



**Fig. 2.10 Compresor de Tornillo<sup>8</sup>**

### 2.1.7.1.3. Compresores Rotativos de Paletas

Estos compresores constan de una carcasa cilíndrica en cuyo interior va un rotor montado excéntricamente de modo de rozar casi por un lado la pared de la carcasa formando así del lado opuesto una cámara de trabajo en forma de media luna. Esta cámara queda dividida en secciones por un conjunto de paletas deslizantes alojadas en ranuras radiales del rotor.

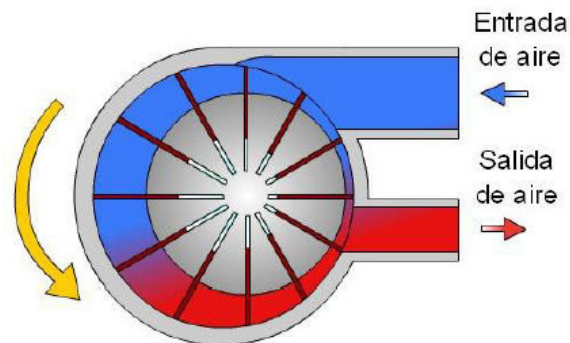
Características:

- Fácil Mantenimiento

<sup>8</sup> Ilustración tomada de: portalesco.com

- Silencioso
- Pequeño
- Flujo continuo de Aire

Principio de Operación: Cuando gira el rotor, las paletas se desplazan contra las paredes del estator, gracias a la fuerza centrífuga. El aire aspirado por el compresor se deposita en los espacios existentes entre cada dos aletas, zona de mayor excentricidad. Al girar el rotor el volumen entre aletas va disminuyendo y el aire se comprime, hasta llegar a la lumbrera de descarga.

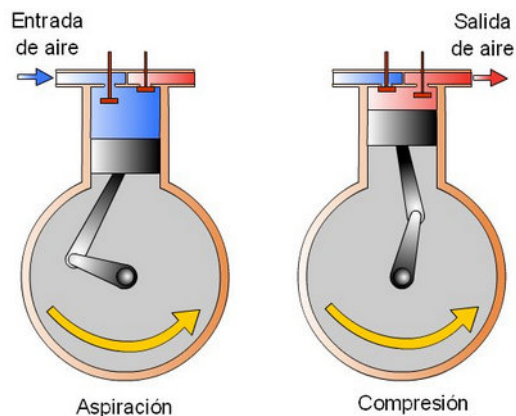


**Fig. 2.11 Compresor de Paletas**

### 2.1.7.2. Compresores Alternativos

El funcionamiento de este tipo de compresores es muy parecido al del motor de un automóvil. Un eje, mediante una biela y una manivela produce el movimiento alternativo de un pistón. Al bajar el pistón se introduce el aire. Cuando ha bajado totalmente se cierra la válvula de admisión y comienza a subir el pistón y con ello la compresión del aire. Cuando este aire se ha comprimido hasta el máximo, la válvula de escape se abre y sale el aire a presión.

Generalmente con una sola etapa se obtiene poca presión por lo que suelen concatenarse varias etapas para obtener mayores presiones.



**Fig. 2.12 Compresor Alternativo**

### 2.1.7.3. Compresores Dinámicos

Son máquinas de flujo continuo en donde se transforma la energía cinética en presión, los mismos que se dividen en: Centrífugos, y Axiales.

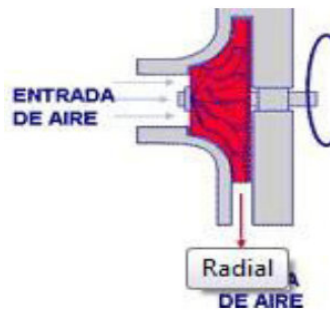
#### 2.1.7.3.1. Compresores Centrífugos

El compresor centrífugo tiene un impulsor con alabes radiales o inclinados y hacia atrás. El movimiento de las aspas acelera el gas de un lado a otro, comprimiéndolo.

Características:

- Flujo constante de aire
- Suministran aire libre de aceite
- Velocidad de funcionamiento alta, en comparación con otros compresores.

Principio de Operación: El aire ingresa por una rueda giratoria provista de álabes radiales, los cuales lanzan el aire hacia la periferia mediante la fuerza centrífuga.



**Fig. 2.13 Compresor Centrífugo.**<sup>9</sup>

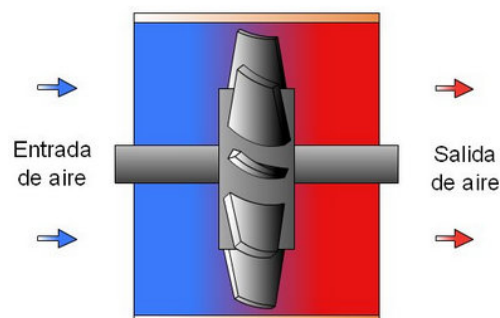
#### 2.1.7.3.2. Compresores Axiales

La dirección de flujo de estos compresores es a lo largo de su eje. El compresor está formado por filas alternadas de álabes estacionarias y rotativas. Que comunican cierta velocidad al gas o energía, que después se transforman en presión.

Características:

- Flujo de aire continuo
- Alto Caudal de Flujo
- Velocidad de funcionamiento mayor que los compresores centrífugos
- Aire libre de aceite

Principio de operación: Los álabes móviles entregan velocidad y presión al girar el rotor, luego en los álabes estacionarios la velocidad es convertida en presión por expansión.



**Fig. 2.14 Compresor Axial**<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Ilustración tomada de widman.biz

#### **2.1.7.4. Selección del compresor**

El tipo de aplicación determina el tipo de compresor. Para presiones muy elevadas como 1,379 bar (20,000 psi), solo se pueden lograr con compresores recíprocos. Por otro lado para altos volúmenes como 4,247.52 m<sup>3</sup>/min (150,000 CFM) y presiones del orden de los 2 bar (30 psi), solo se puede lograr con unidades dinámicas radiales o axiales.

Algunos de los factores que influyen en la selección, tanto del tipo de compresor como del tipo de instalación son:

- Cantidad de puntos de utilización del sistema
- Máxima y mínima demanda de aire
- Costo de Energía
- Gastos de Mantenimiento
- Tipo de necesidad de aire (intermitente o continuo)
- Presión de operación del sistema
- Condiciones ambientales (temperatura, humedad, altitud, etc.)

## **2.2. LIMPIEZA ABRASIVA**

### **2.2.1. RESEÑA HISTÓRICA.**

El proceso de Sand-Blast fue patentado en Inglaterra en el año de 1870, por Tilghman, quien descubrió que impulsando arena (Sand), con un chorro de aire comprimido se podía aprovechar la energía generada por el impacto (Blast), que se producía, para limpiar las superficies de las piezas salidas de fundición, a las que se les debía quitar la arena del corazón y la

---

<sup>10</sup> Ilustración tomada de: [www.portalesco.com](http://www.portalesco.com)

escoria formada en la superficie de esas piezas, descubriendo así el principio de lo que ahora conocemos como “Sand-Blasting”.

De aquí proviene el inicio de la utilización del impacto de arena en superficies con objetivos de aplicaciones industriales.

### 2.2.2. DEFINICIÓN.

Consiste en la limpieza superficial de materiales proyectando granos abrasivos por soplo de aire comprimido con una presión adecuada del aire (figura 2.14), o por la fuerza centrífuga de un rotor. (Figura 2.15).



**Fig. 2.15** Sandblasting por aire. **Fig. 2.16** Proyección centrífuga.

El impacto del medio abrasivo se realiza a través de algún mecanismo o sistema, que lanza el abrasivo a velocidad y a granel para que impacte la superficie que se quiere procesar. El efecto de este choque provoca que las partículas no adheridas a la superficie sean desplazadas (polvo, óxido de corrosión, pintura, etc. Obteniendo como resultado una limpieza profunda.

Se debe mantener el impacto, entonces además de limpiar (por el barrido efectuado), se inicia el proceso de preparación de la superficie áspera favorable para un proceso posterior de aplicación de pintura, este beneficio se

consigue al aumentar la rugosidad de la superficie, teniendo como resultado una mayor adherencia de la pintura a la pieza, con lo que el acabado tendrá una vida útil más larga y en mejores condiciones.

### **2.2.3. EQUIPOS DE SANDBLASTING**

Principalmente existen dos tipos de máquinas que funcionan propulsando abrasivo por la fuerza generada por aire comprimido, que a continuación se detallan.

#### **2.2.3.1. Equipos de Sandblasting por Presión.**

Este proceso consiste en presurizar un recipiente fabricado especialmente para soportar presión de 9,15Kg/cm<sup>2</sup> o 130 PSI (Libras por pulgada cuadrada). La forma del cuerpo es circular, la sección superior está conformada con una tapa semiesférica en cuyo centro se abre un orificio de aproximadamente 8 cm. De diámetro a través del cual se introduce el abrasivo.

La sección inferior es de forma cónica que termina en una salida de 2.5 a 3 cm. de diámetro con un acople al que se conecta una válvula mezcladora de abrasivos de la misma que se conecta la manguera por la que se expulsa el abrasivo hacia la pieza a limpiar, por el tamaño de salida de la boquilla, su forma y el hecho de poder lanzar el abrasivo a mayor velocidad y con más fuerza, La ventaja de este método, es que hace posible manejar un mayor volumen de abrasivo y con una fuerza de impacto más grande, logrando más velocidad en el proceso y mayor eficiencia en la limpieza superficial.

Con estos equipos se pueden procesar grandes áreas. Por ejemplo cascos de barco, tanques de almacenamiento de refinerías, pista de aterrizaje, estacionamientos, etc.

Las capacidades que se manejan en estos equipos van desde 75 Kg. de arena hasta 50 toneladas, igualmente la dimensión es de 0.30 m. de diámetro y 1.07 m. de altura, hasta 2.15 m. de diámetro y 9.95 m. de altura. La figura 2.16 ilustra estos equipos.



**Fig. 2.17 Equipo de Sandblasting por Presión<sup>11</sup>**

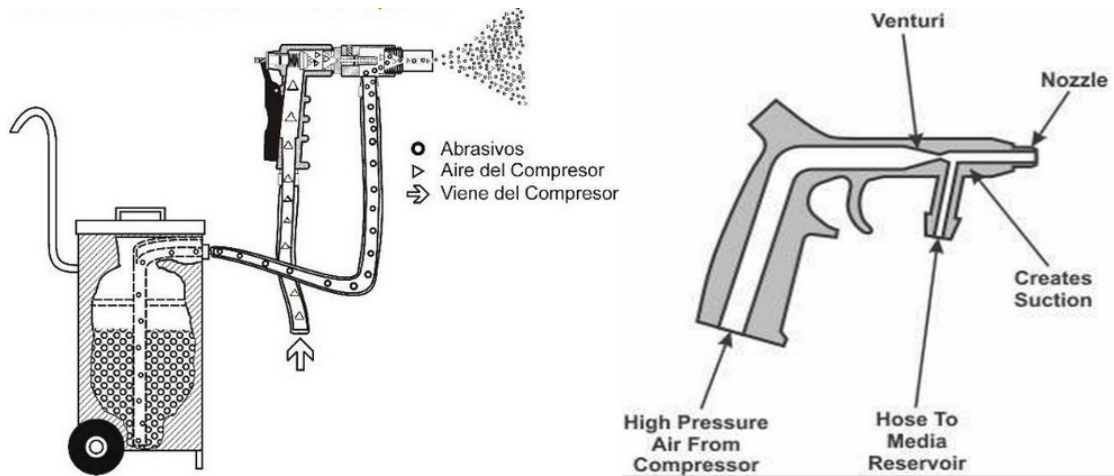
### **2.2.3.2. Equipos de Sandblasting por Succión.**

Los equipos de sandblasting por succión funcionan con un proceso que consiste en transportar el abrasivo, por efecto de una succión que se produce en la boquilla de la pistola del equipo, por el efecto de una depresión producida por una disminución de área del ducto interno, aumentando la velocidad del aire en ese punto generando una depresión que succiona el abrasivo que una vez en el ducto de la pistola sale expulsado a altas velocidades sobre los cuerpos. Este efecto que ocurre dentro de las pistolas se llama Venturi.

---

<sup>11</sup> Ilustración tomada de: <http://www.sspc.org>.





**Fig. 2.18 Funcionamiento de la Succión.<sup>12</sup>**

Cabe mencionar que la fuerza de impacto del abrasivo por este método no es tan grande como si utilizáramos el equipo de presión mencionado anteriormente, siendo de cualquier manera muy efectivo en piezas pequeñas debido a la relación tiempo-área de proceso.



**Fig. 2.19 Equipo de Sandblasting por Succión**

<sup>12</sup> Ilustración tomada de: <http://www.chipaxa.com>

#### 2.2.4. CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO.

Tanto los equipos de Granallado y los de Sand-Blasting tienen una operación por naturaleza autodestructiva, por el efecto de los abrasivos en circulación, el cuidado en la operación es sumamente importante para aumentar eficiencia, disminuir costos por desgastes prematuros, ahorrar energía y salvar secciones de los equipos que no deben estar expuestos directamente a las ráfagas de abrasivos lanzadas por él, o los procesos.

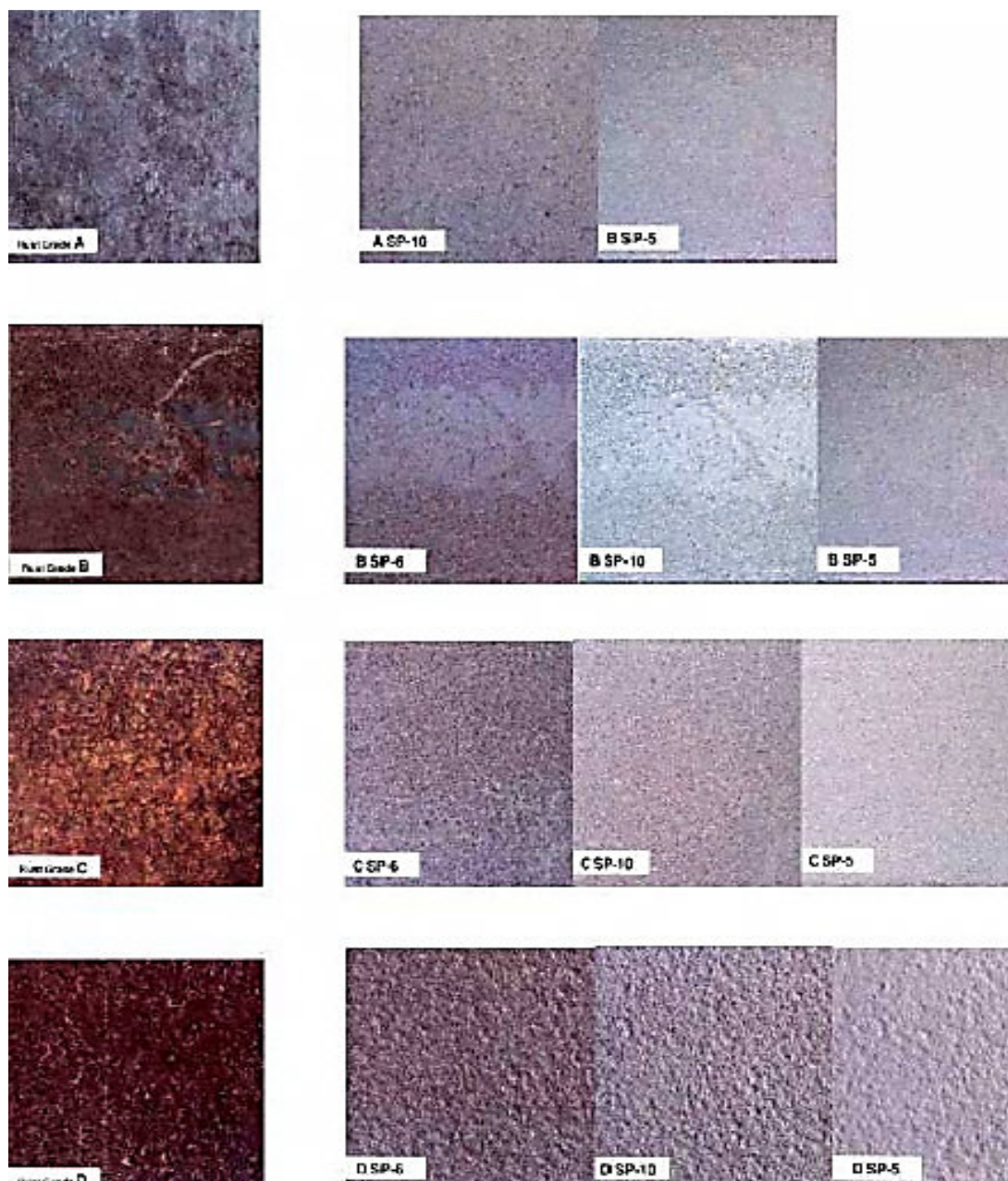
#### 2.2.5. GRADOS DE PREPARACIÓN POR SANDBLASTING.

Basado en la norma SSPC VIS 1-89 ésta define cuatro grados de corrosión (A, B, C, D) equivalentes y partiendo de éstos se definen distintos grados de preparación:

- **Grado SSPC SP7** Granallado / Arenado Rápido.
- **Grado SSPC SP6** Granallado / Arenado Comercial.
- **Grado SSPC SP10** Granallado / Arenado cercano a metal blanco.
- **Grado SSPC SP5** Granallado / Arenado a metal blanco.

*Ejemplo, si se parte de un grado de corrosión "B" y se logra un grado de preparación SP 10 el trabajo se define como **B SP 10**.*

En la siguiente figura se puede visualizar los patrones visuales de los distintos grados de oxidación inicial, y los patrones de preparación final, después se describe cada uno de ellos.



**Fig. 2.20 Patrones de estados superficiales según norma SSPC**

#### **2.2.5.1. SSPC SP7 arenado – granallado rápido.**

La superficie debe verse libre de aceite, grasa, polvo, capa suelta de laminación, óxido suelto y capas de pintura desprendidas. Conserva la capa de laminación donde está firmemente adherida. Estas partes no deben desprenderse mediante un objeto punzante. Es utilizado sólo en los casos de condiciones muy poco severa y presentará áreas de probables fallas.

#### **2.2.5.2. Grado SSPC SP6 arenado – granallado comercial.**

La superficie debe verse libre de aceite, grasa, polvo, óxido y los restos de capa de laminación no deben superar al 33% de la superficie en cada pulgada cuadrada de la misma. Los restos deben verse sólo como de distinta coloración. Generalmente se lo especifica en aquellas zonas muy poco solicitadas sin ambientes corrosivos.

#### **2.2.5.3. Grado SSPC SP10 arenado – granallado cercano a metal blanco.**

La superficie debe verse libre de aceite, grasa, polvo, óxido, capa de laminación, restos de pintura y otros materiales extraños. Se admite hasta un 5% de restos que pueden aparecer sólo como distinta coloración en cada pulgada cuadrada de la superficie. Es la especificación más comúnmente utilizada. Reúne las características de buena preparación y rapidez en el trabajo. Se lo utiliza para condiciones regulares a severas.

#### **2.2.5.4. Grado SSPC SP5 arenado a metal blanco.**

La superficie debe estar libre de aceite, grasa, polvo, óxido, capa de laminación, restos de pintura sin excepciones. Es utilizada donde las condiciones son extremadamente severas, con contaminantes ácidos, sales en solución, etc.

#### **2.2.6. PROCEDIMIENTOS Y PATRONES DE LIMPIEZA.**

A cada grado de corrosión, se aplican diferentes grados de limpieza, de donde se obtienen diferentes patrones de limpieza.

### **2.2.6.1. Limpieza al metal blanco con chorro abrasivo**

Este es el método de la norma SSPC–SP5–63 (el patrón visual es SSPC–VIS 1–C7–T 5 a 3). Este método se aplica a todos los grados de corrosión. Consiste en y limpio, o escobilla de acero limpia. Posterior a la limpieza final, la superficie deberá un tratamiento intenso hasta conseguir la remoción total de la capa de laminación, óxidos y partículas extrañas. Limpieza final con aspirador de polvo, aire comprimido seco quedar con una coloración ceniza claro metálica uniforme y sin manchas o rayas.

En si en la limpieza del METAL BLANCO todo el óxido visible, restos de pintura y partículas extrañas son removidos de la superficie. El acero totalmente limpio quedará de color gris claro similar al aluminio.

### **2.2.6.2. Limpieza al metal casi blanco con chorro abrasivo**

Este es el método de la norma SSPC–SP10–63–T y el patrón visual es SPC– VIS 1–67T. Consiste en una limpieza minuciosa, toda capa de laminación, óxido y partículas extrañas, deben ser removidas, de tal modo que los residuos sólo aparezcan como leves manchas, o decoloraciones en la superficie. Limpiar con aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco o escobillas de fibra. Posterior a la limpieza final, 95% de la superficie deberá estar libre de residuos y presentar un color ceniza claro o próximo al blanco, en esta condición el 95% del área (uniformemente distribuida) y tratada estará limpia, sin residuos e impurezas y presentar un color ceniza claro.

### **2.2.6.3 Limpieza comercial con chorro abrasivo**

Este es el método de la norma SSPC–SPC–63 (el patrón visual es SSPC–VIS 1–67–T 5 a 2. Este patrón no se aplica al grado de corrosión "A". Consiste en una limpieza cuidadosa, removiendo prácticamente toda capa de

laminación de óxidos y partículas extrañas. Limpiar la superficie con aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco, o escobilla de acero limpia.

Si la superficie tiene cavidades (erosión), sólo se permite pequeños residuos de óxido en el fondo de estas cavidades, con la limpieza de calidad comercial, 2/3 de la superficie tratada estará libre de restos de óxidos e impurezas. Corresponde aclarar que esta condición detalla lo que sería observado “un tono ligeramente suave de marrón” sobre un fondo gris más claro.

### **2.2.7. MATERIALES UTILIZADOS CON CHORRO ABRASIVO**

Sirven para el caso de diversos materiales que tengan propiedades de alta dureza: granalla de acero, granos de acero o hierro fundido, producto sintético y óxidos. También pueden usar materiales de baja dureza, cáscara de arroz, de nuez, de maní y sustancias parecidas. Estos abrasivos son generalmente utilizados en instalaciones donde se pueda establecer un circuito cerrado, con elevada tasa de reciclaje. La arena, es el único abrasivo de posible aprovechamiento económico en instalaciones de obra.

Inhibidores de corrosión para arenado de superficies, son utilizados en los casos de limpieza húmeda, y en limpieza seca convencional con ambiente de una humedad sobre el 85%.

#### **2.2.7.1. Arena**

Es el abrasivo natural de más amplia disponibilidad y muy bajo costo. Constituye históricamente “el abrasivo”, y le aporta el nombre a todos los procesos de preparación de superficie por proyección de partículas llamados comúnmente “arenado” o “sand-blasting”.

El tipo de arena que se utiliza, es la sílice y nunca la calcárea, la cual tiene la dureza necesaria para este tipo de trabajo. Al ser un abrasivo natural debe ser sometido a análisis, debido a los contaminantes que puede arrastrar desde su lugar de origen, dunas, ríos, canteras, etc.

Si bien puede utilizarse arena de origen marino será indispensable en tal caso lavarla y secarla antes de usar y posteriormente lavar la superficie de la chapa arenada con soluciones para remover y neutralizar cualquier vestigio de sal antes de pintar.

Es extremadamente frágil y proyectada por equipos de alta producción, sólo se puede utilizar una sola vez debido a que más del 80 % se transforma en polvo luego del primer golpe. Crea una gran polución en el ambiente de trabajo por la fragilidad de sus partículas que, luego del impacto, se convierten en un alto porcentaje en polvo con tamaños inferiores a malla 300 Mesh.

La arena a usar esta en un rango de 2 milímetros de diámetro la más gruesa hasta 0,0625 milímetros de diámetro la más delgada, la arena es un silicato de fácil obtención, el inconveniente con ella es que sus granos al golpear el metal se parten formando un fino y penetrante polvo.

Al cabo de una o dos proyecciones de la arena en uso debe ser reemplazada porque adopta la característica del talco o la harina, normalmente estos granitos proyectados con aire a una presión superior a los 6 Kg/cm<sup>2</sup> ó 85 PSI producirán unas depresiones de 1,5 micras al golpear contra la superficie de la chapa y partirse.

#### **2.2.7.2. Granalla de acero**













Es un abrasivo que se obtiene del acero a través de proceso de fusión con composiciones químicas controladas. Del proceso primario de fabricación se obtienen partículas redondeadas que constituyen las granallas de acero

esféricas (shot). Estas partículas en el estado de mayor diámetro se parten formando así la granalla de acero angular (grit).

Para aquellos trabajos en donde reemplazan el uso de la arena se utilizan exclusivamente granallas angulares, en algunos casos con el agregado de un pequeño porcentaje de granalla esférica. Una partícula de granalla angular presenta aristas y puntas y al ser proyectada trabaja como una herramienta que clava y arrastra en la superficie a procesar.

Este abrasivo, puede ser seleccionado de acuerdo al trabajo a realizar, no solo por el tamaño de la partícula, uniforme en todas ellas, sino la dureza en determinados rangos. Es altamente reciclable, pudiendo ser proyectado desde 700 a 5000 veces conforme al diámetro, tipo y dureza de abrasivo utilizado. Al ser partículas de acero templado y revenido no provocan ningún problema de contaminación en la superficie de trabajo.

El polvo producido en la operación es solo básicamente el resultado de los materiales removidos sobre la superficie a tratar. Debido a que no absorbe humedad, la granalla de acero no requiere de un secado previo y al ser todas las partículas de similar granulometría, producen un trabajo totalmente uniforme.

<b>Formas aceptables</b>			
	Esfera	Esferoide	Elipsoide
<b>Formas marginales</b>			
	Nodulada	Elongada	Germinada
<b>Formas inaceptables</b>			
	Lágrima	Rota	Mellada
<b>Defectos internos (máximo 15 %)</b>			
	Grietas	Huecos	Rechupes

**Fig. 2.21 Formas de Granos de Granalla**



### 2.2.7.3. Comparación entre Arena y Granalla

Los abrasivos que se decida utilizar van a requerir de un análisis donde se deberán tomar en cuenta varios aspectos importantes, en la siguiente tabla se detallan algunas características principales de la arena y la granalla de acero.

**Tabla 2.4 Características de Arena y Granalla de Acero**

Abrasiv.	Tipo	Forma	Dureza	Densidad	Sílice Libre	Mallas	Fact. reutiliz
Arena	Sílice	Irregular	5-6 MOHS	1600 Kg/m3	90%	6-300	Max 3 veces
Granalla de Acero	Metálica	Angular	40-68 RC	4000 Kg/m3	0%	18- 200	De 700 a 5000 veces.

Fuente: <http://www.blasting.com.ar>

Antes de implementar la utilización de algunos de los materiales abrasivos disponibles se deberá tomar en cuenta otras características relevantes que son dependientes de otros factores que pueden variar según el caso, a continuación se mencionan algunos de ellos.

- Facilidad de abastecimiento del abrasivo
- Costo del abrasivo en el lugar a utilizar
- Disponibilidad de sistema cerrado que permita reciclar el material
- Análisis costo beneficio.
- Frecuencia de utilización del método.
- Características constructivas y funcionamiento del equipo disponible.
- Protección personal, seguridad industrial.
- Gestión de residuos.

## CAPÍTULO 3

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

#### 3.1. DESCRIPCION DE NECESIDAD DE AIRE.

La planta industrial se ha dividido en diferentes áreas de trabajo, como se indicó anteriormente en el capítulo 1, y se detalla en **ANEXO A**, en esta sección se describe cada una de estas áreas en función a su necesidad de aire comprimido.

Se requiere saber profundamente como es la demanda de aire comprimido durante el día de trabajo tipo, tomando en cuenta que la empresa INCOAYAM maneja en la planta un solo horario de trabajo. De lunes a viernes, de 7:00 horas a 16:00 horas. Por este motivo se analiza cada área de trabajo que requiere aire comprimido principalmente sobre los aspectos descritos más abajo, los mismo que nos ayudaran posteriormente a calcular los factores de: utilización, simultaneidad, fugas, error, expansión y altura.

- Descripción del proceso con aire comprimido: se realizará una breve descripción de la, o las actividades que involucren la utilización de aire comprimido.
- Lista de herramientas o equipos neumáticos: se generara un listado por área de trabajo de las herramientas que se operan con aire comprimido.
- Horas de utilización diaria: se describirá el tiempo (horas) que se requiere normalmente para cada herramienta en un día tipo de trabajo.
- Número de puntos de consumo: dependiendo de cada área de trabajo se establecerá un número de puntos de consumo requerido.

- Calidad de aire: dependiendo de las actividades antes descritas se analizara si algún punto de consumo requiere una calidad específica en el aire comprimido.

### 3.1.1. AREA DE MAQUINAS HERRAMIENTAS.

- Descripción del proceso con aire comprimido:

En esta área de trabajo se tiene ya instalado un torno, dos taladros de banco, y se pretende instalar este año una fresadora. El requerimiento de aire comprimido en este sector es para limpieza, se requiere limpiar las piezas maquinadas para poder realizar una inspección visual rápida, principalmente para roscas, orificios, donde retirar por medios mecánicos el refrigerante junto a escorias se torna una actividad difícil y poco práctica. La disponibilidad de pistolas de limpieza de aire cercanas a la zona de trabajo será una buena opción para dar una solución a este problema, utilizándolas de una forma responsable.

- Lista de herramientas o equipos neumáticos

A continuación una lista de las herramientas o equipos que requieren de aire comprimido.

**Tabla 3.1 Herramientas Zona 1**

DESCRIPCION	CANTIDAD
Pistola de limpieza	2
Total herramientas	2

Fuente: Autor.

- Número de puntos de consumo:

Se instala una pistola de limpieza cercana al torno y otra cercana a la fresadora y taladros una para cada operador. Este proceso requiere de 2 puntos de consumo, uno para cada operador.

- Horas de Funcionamiento por jornada

La frecuencia con que un operador realiza una inspección visual es aproximadamente de 4 veces por hora, manteniendo pulsado el actuador aprox 1 min. Tomando en cuenta que la jornada laboral es de 8 horas, se plantea el ejemplo de cálculo del número de horas de funcionamiento por jornada de una pistola de limpieza neumática.

$$T_u = \frac{4\text{veces}}{\text{hora}} * \frac{8\text{horas}}{\text{jornada}} * \frac{1\text{min}}{\text{vez}} * \frac{1\text{hora}}{60\text{min}} = 0,53 \frac{\text{horas}}{\text{jornada}}$$

**Tabla 3.2 Horas de Funcionamiento Zona 1**

DESCRIPCION	CANTIDAD	Tu
	Unidad	Horas/jornada
Pistola de limpieza	2	0,53

Fuente: Autor

- Calidad de aire:

No se toma en cuenta la instalación de filtros o reguladores ya que no son necesarios en este proceso.

### 3.1.2. AREA AUTOS PROTOTIPO

- Descripción del proceso con aire comprimido:

En esta área se realizan actividades de mantenimiento, desarrollo, y modificación de autos de competencia tipo formula libre. Esta actividad está fuera del negocio principal de la compañía, ya que la frecuencia con la que ocurren estos trabajos es baja, sin embargo se pretende aumentar este mercado.

El uso de aire comprimido en esta área es muy importante ya que se disponen de varias herramientas neumáticas que actualmente se están usando muy poco o nada, y serian de gran utilidad para facilitar los trabajos mecánicos.

- Lista de herramientas o equipos neumáticos

**Tabla 3.3 Herramientas Zona 2**

DESCRIPCION	CANTIDAD
Llave de impacto para dados de 1/2"	1
Inflador de llantas	1
Pistola Pulverizadora	1
Atornillador de par regulable	1
Total herramientas	4

Fuente: Autor

- Número de puntos de consumo:

Analizando la cantidad de herramientas y la simultaneidad con las que se utilizan, se determina la instalación de dos puntos de consumo para esta área. Uno para cada usuario.

- Horas de Funcionamiento por jornada

Según estadísticas internas de la compañía se trabaja promedio un día semanal, para el cálculo de horas de funcionamiento de cada herramienta se toma como referencia una jornada de 8 horas con 2 operadores, de un día de trabajo tipo, esto quiere decir que se asumirá como que ahí se trabaja todos los días en esa frecuencia, lo que nos da un factor de seguridad extra para la expansión de este negocio.

Los datos presentados en la siguiente tabla muestra un promedio de horas al día que se utiliza aire en cada herramienta, los tiempos se tomaron en 2 oportunidades para mayor precisión.

**Tabla 3.4 Horas de funcionamiento Zona 2**

DESCRIPCION	CANTIDAD	Tu Horas/jornada
Llave de impacto para dados de 1/2"	1	0,32
Inflador de llantas	1	0,11
Pistola Pulverizadora	1	0,05
Atornillador de par regulable	1	0,23

Fuente: Autor.

- Calidad de aire:

Las herramientas de este sector no necesitan un tratamiento para mejorar la calidad de aire, ni un sistema independiente de regulación.

### 3.1.3. CONTROL DE CALIDAD

- Descripción del proceso con aire comprimido:

En este sector de la planta se realiza inspecciones de estanqueidad, en elementos prefabricados, así como el control de calidad de manómetros, y reguladores. Estos elementos se cargan de aire a una presión de 80 psi, mediante un acople rápido que es parte de un banco de prueba de presiones. Para dejarlos así durante 24 horas donde se comprueba que no exista fugas. Cuando se quiere verificar el correcto funcionamiento de manómetros (0-100psi) se carga solamente el banco de pruebas, donde se tiene conexión a diferentes manómetros y juego de válvulas para realizar los testeos. El requerimiento de aire comprimido en esta área es solamente para el banco de presiones mencionado anteriormente.

- Lista de herramientas o equipos neumáticos

**Tabla 3.5 Herramientas Zona 3**

DESCRIPCION	CANTIDAD
Banco prueba de presiones.	1
Total	1

Fuente: Autor.

- Número de puntos de consumo:

En este caso se determinó instalar un punto de consumo donde estaría conectado el banco de pruebas.

- Horas de Funcionamiento por jornada

Un día tipo donde se utiliza mayormente el banco de pruebas, se determinó que es cuando se presuriza 17 elementos para prueba de estanqueidad. Y además se realiza el testeo aleatorio de 20 manómetros.

Los tiempos registrados para cada caso son:

Carga de presión de 17 elementos: 34min (2min c/u).

Prueba de 20 manómetros: 30 min (1.5min c/u).

Total de min utilizando aire comprimido en el área por jornada: 64 min.

**Tabla 3.6 Horas de Funcionamiento Zona 3**

DESCRIPCION	CANTIDAD	Tu
		Horas/jornada
Banco prueba de presiones.	1	1,06

Fuente: Autor.

- Calidad de aire:

El banco de pruebas dispone de un filtro separador propio, por lo que no es necesaria la instalación de otro en la línea de suministro.

### **3.1.4. AREA DE RETIROS Y ALMACENAMIENTO DE GAS**

- Descripción del proceso con aire comprimido:

En esta parte de la planta el aire comprimido está enfocado a dar funcionamiento a máquinas de corte y limpieza. Se estima que la implementación de estas máquinas disminuirá en un 20% el tiempo que toma el proceso de organización y limpieza de los materiales reciclables. El trabajo de organización del material reciclable generado en la jornada de trabajo la realiza un solo operador al final de la jornada. El tiempo aproximado que toma el operador para estas actividades, entre cortar, clasificar ordenar, limpiar es de 1 hora.



- Lista de herramientas o equipos neumáticos

**Tabla 3.7 Herramientas Zona4**

DESCRIPCION	CANTIDAD
Pistola de limpieza	1
Amoladora angular	1
Total	2

Fuente: Autor.

- Número de puntos de consumo:

Se decide la instalación de un punto de consumo para este proceso.

- Horas de Funcionamiento por jornada

En esta sección se realizan trabajos aproximadamente 1 hora diaria De la cual se define el tiempo real donde el operador hace uso de herramientas de corte y limpieza.

Limpieza, 7min ; Corte: 10 min

Por lo que el tiempo por jornada para las herramientas seria:

**Tabla 3.8 Horas de Funcionamiento Zona 4**

DESCRIPCION	CANTIDAD	Tu Horas/jornada
Pistola Sopleteadora	1	0,10
Sierra Neumática	1	0,16

Fuente: Autor.

- Calidad de aire:

No es necesario instalación de equipos de filtración o regulación.

### 3.1.5. AREA DE SANDBLASTING

- Descripción de actividad con aire comprimido:

Sin lugar a dudas esta es un área donde se pondrá mucho énfasis en este proyecto ya que es parte integral de él, el correcto funcionamiento de la máquina de sandblasting que se pretende reutilizar en esta área, va de la mano con el correcto diseño, instalación de la red de aire comprimido.

El proceso de sandblasting requiere de un suministro de aire comprimido estable, este se logra instalando un punto de consumo de una red centralizada de aire comprimido.

- Lista de herramientas o equipos neumáticos

**Tabla 3.9 Herramientas Zona 5**

DESCRIPCION	CANTIDAD
Maquina Sandblasting	1
Total	1

Fuente: Autor.

- Número de puntos de consumo:

Se requiere un solo punto de consumo para la máquina de sandblasting.

- Horas de Funcionamiento por jornada

Actualmente la actividad de limpieza de tuberías toma las primeras horas de la jornada. Durante 5 jornadas tipo donde se realiza este proceso, se tomó el tiempo que dedica un trabajador y se calcula un valor promedio.

**Tabla 3.10 Horas de Funcionamiento Zona 5**

Actividad	Horas/Jornada					Promedio (Tu)
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	
Limpieza Tubería.	2,80	3,20	2,75	2,85	3,35	<b>2,99</b>

Fuente: Autor.

Es importante aclarar que el proceso de limpieza actualmente se realiza por medio de gratas, y lijas como se indicó en el capítulo 1. Por este motivo con la implementación del sandblasting se estima reducir el tiempo en un 20% (0,60 horas diarias).

- Requerimiento especial de calidad de aire.

Un requerimiento importante en esta área es la instalación de una unidad reguladora, para poder variar la presión de ingreso al equipo, ya que esta podría variar según el abrasivo que se utilice, y la pistola del equipo. No es necesario una unidad de filtro, sino un buen diseño de la línea con trampas y adecuada inclinación de líneas principales. Como este punto de consumo es un punto distante a la unidad compresora se considera la instalación de trampas para condensados a lo largo de la red, y antes del equipo.

### 3.1.6. AREA DE PINTURA

- Descripción del proceso con aire comprimido:

Esta es una de las áreas que más demanda de un sistema de aire comprimido con una disponibilidad alta. En esta área se realiza trabajo de pintura de tubería, como de las producciones internas, y partes de los vehículos prototipos. La aplicación del aire comprimido va netamente dirigida a pulverizar pintura para su aplicación.

- Lista de herramientas o equipos neumáticos

**Tabla 3.11 Herramientas Zona 6**

DESCRIPCION	CANTIDAD
Pistolas de Pintura Industrial	2
Total Herramientas	2

Fuente: Autor.

- Número de puntos de consumo:

Se define instalar 2 puntos de consumo, ya que el proceso requiere la disponibilidad de ellos para 2 pintores.

- Horas de Funcionamiento por jornada

Se tomó el tiempo de operación de un pintor con aire comprimido durante 5 jornadas tipo, para los cálculos se asumirá que con dos pinturas el tiempo de utilización aumentara directamente proporcional, esto quiere decir, que será el doble. Los datos obtenidos para un pintor son los siguientes:

Actividad	Horas/Jornada					Promedio (Tu)
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	
Pistola de Pintura industrial	2,60	1,88	2,59	1,88	2,32	<b>2,25</b>

Para los 2 operadores.

**Tabla 3.12 Horas de funcionamiento Zona 6**

DESCRIPCION	CANTIDAD	Tu Horas/jornada
Pistola de Pintura industrial.	2	4,50

Fuente: Autor.

- Requerimiento especial de calidad de aire.

Las pistolas de pintura requieren una presión de ingreso específico, este puede variar según la marca y la capacidad de la pistola, por lo que es necesaria la instalación de una unidad reguladora de presión en cada punto de consumo. No se requiere instalar una unidad de filtración.

### 3.1.7. AREA DE ENSAMBLE

- Descripción del proceso con aire comprimido:

En esta área se realiza el ensamble de partes pre elaborados, como es el caso de chimeneas a gas, tableros de control, ductos, etc. Para estos ensambles se necesita de herramientas neumáticas para aumentar su velocidad. Hay que aclarar que en esta área no se tiene una producción en serie, se realizan las piezas bajo pedido, sin embargo se estima la reducción de los tiempos de ensambles en un 20%, valor importante para tener disponibilidad de los elementos más rápidamente.

**Tabla 3.13 Herramientas Zona 7**

DESCRIPCION	CANTIDAD
Taladro Perles	1
Atornillador	1
Total herramientas	2

Fuente: Autor.

- Número de puntos de consumo:

Actualmente no se utilizan herramientas neumáticas en esta área, por lo que se toma los tiempos de utilización de herramientas similares pero de funcionamiento no neumático, para proyectarlos en el consumo de las herramientas necesarias. Además este punto es el adecuado para realizar una expansión próxima.

- Horas de Funcionamiento por jornada

Se ha tomado el tiempo de utilización de las herramientas en tres jornadas laborales que han tenido alta frecuencia de trabajo. Se tomó el tiempo de utilización de un taladro eléctrico, y atornilladores manuales y el resultado es el siguiente:

Herramienta	Horas/Jornada			Promedio
	Jornada 1	Jornada 2	Jornada 3	
Taladro Perles	0,66	0,42	0,69	0,59
Atornillador manual	0,58	0,32	0,40	0,43

Los resultados de proyectar la utilización de las herramientas actuales para las herramientas neumáticas son:

**Tabla 3.14 Horas de funcionamiento Zona 7**

DESCRIPCION	CANTIDAD	Tu Horas/jornada
Taladro Perles	1	0,59
Atornillador manual	1	0,43

Fuente: Autor.

- Calidad de aire:

No se requiere ningún requerimiento especial de calidad de aire ni regulación de presión.

### **3.2. LAY OUT PRELIMINAR**

El layout preliminar de la planta de INCOAYAM con el diagrama unifilar del sistema de aire comprimido se presenta en el ANEXO B, además se presenta también un diagrama con la tubería extendida para facilitar la sumatoria de longitudes.

### **3.3. CALCULO DE NECESIDAD DE AIRE**

En este cálculo se analiza la necesidad de aire por cada zona de la planta donde se requiera, tomando en cuenta el consumo específico de aire de cada herramienta y equipo, con su factor de utilización. De esta manera se tiene el requerimiento de aire total de la planta. Asimismo se recalcula el valor hallado incluyendo los factores de simultaneidad, error, fugas, expansión y altura.

### 3.3.1. REQUERIMIENTOS REALES POR ZONA.

En el **ANEXO A**, se ha asigna a cada zona de análisis una denominación corta, el orden de cada una de ellas no responde a otro interés que facilitar su ubicación dentro de la planta con respecto al flujo del aire comprimido. Quiere decir, que la zona más cercana al compresor es la Z1, y la más distante la Z7. A continuación se detalla las denominaciones cortas:

- AREA DE MAQUINAS HERRAMIENTAS, ZONA1 (Z1)
- AREA AUTOS PROTOTIPO, ZONA2 (Z2)
- CONTROL DE CALIDAD, ZONA3 (Z3)
- AREA DE RETIROS Y ALMACENAMIENTO DE GAS, ZONA4 (Z4)
- AREA DE SANDBLASTING, ZONA5 (Z5)
- AREA DE PINTURA, ZONA6 (Z6)
- AREA DE ENSAMBLE, ZONA7 (Z7)

Para calcular el requerimiento o demanda de aire de cada zona, es necesario partir del estudio realizado de horas de funcionamiento de cada herramienta o equipo neumático presentado en el apartado anterior, para posteriormente calcular el factor de utilización.

A continuación se realiza un ejemplo de cálculo del factor de utilización para la ZONA 1. La fórmula del factor de utilización que se utiliza para el cálculo es la siguiente:

$$Fu = \frac{Tu}{Tr} \quad \text{Ecuación (2.1) Factor de utilización.}$$

En todos los casos de análisis de estudio de horas de utilización  $Tu$ , se toma como referencia una jornada laboral de 8 horas por lo que el tiempo de referencia para todas las zonas es:  $Tr=8$ horas.



Para la pistola de limpieza de la Zona 1 una se define como tiempo de uso:  $Tu=0,53$  horas.

Entonces:

$$Fu = \frac{Tu}{Tr} = \frac{0,53}{8} = 0,07$$

A continuación también se presenta un ejemplo de cálculo del consumo total real requerido la formula a utilizar será la siguiente:

$$QTr Zn = C * Qe * Fu \text{ Ecuación (3.1) Consumo total Real Qtr}$$

Dónde:

QTrZn: Consumo total real Zona n (l/s)

C: Cantidad de herramientas iguales

Qe: Consumo específico (l/s)

Entonces para las 2 pistolas de limpieza de la zona 1, el consumo total real será:

$$QTrZ1 = 2 * 6 * 0,07 = 0,80 \frac{l}{s}$$

El consumo específico determinado para los cálculos, se han tomado tanto de tablas como de los manuales de funcionamiento de las herramientas y equipos adjuntos en el **ANEXO C**, además hay que tomar en cuenta que estos datos los especifica el fabricante en condiciones estándar a nivel del mar, por lo que más adelante se corrige el cambio por efectos de la altura.

A continuación se presenta el resumen de resultados para cada herramienta en cada área:

**Tabla 3.15 Requerimientos Reales por Zona.**

**Zona 1**

Herramienta/Equipo Neumático	Cantidad ( C )	Consumo Específico (Qe)	Consumo Total Teor. (Qte)	Tiempo de uso (Tu)	Tiempo Referencial (Tr)	Factor de Utilización (Fu)	Consumo Total Real (QTr)
	UNIDAD	L/s	L/s	h	h		L/s
Pistola de limpieza	2,00	6,00	12,00	0,53	8,00	0,07	0,80
						<b>QTrZ1</b>	<b>0,80</b>

**Zona 2**

Herramienta/Equipo Neumático	Cantidad ( C )	Consumo Específico (Qe)	Consumo Total Teor. (Qte)	Tiempo de uso (Tu)	Tiempo Referencial (Tr)	Factor de Utilización (Fu)	Consumo Total Real (QTr)
	UNIDAD	L/s	L/s	h	h		L/s
Llave de impacto > 1/2"	1,00	13,00	13,00	0,32	8,00	0,04	0,52
Inflador de llantas	1,00	8,00	8,00	0,11	8,00	0,01	0,11
Pistola Pulverizadora	1,00	3,00	3,00	0,05	8,00	0,01	0,02
Atomizador de par regulable	1,00	7,00	7,00	0,23	8,00	0,03	0,20
						<b>QTrZ2</b>	<b>0,85</b>

**Zona 3**

Herramienta/Equipo Neumático	Cantidad ( C )	Consumo Específico (Qe)	Consumo Total Teor. (Qte)	Tiempo de uso (Tu)	Tiempo Referencial (Tr)	Factor de Utilización (Fu)	Consumo Total Real (QTr)
	UNIDAD	L/s	L/s	h	h		L/s
anco prueba de presione	1,00	5,00	5,00	1,06	8,00	0,13	0,66
						<b>QTrZ3</b>	<b>0,66</b>

**Zona 4**

Herramienta/Equipo Neumático	Cantidad ( C )	Consumo Específico (Qe)	Consumo Total Teor. (Qte)	Tiempo de uso (Tu)	Tiempo Referencial (Tr)	Factor de Utilización (Fu)	Consumo Total Real (QTr)
	UNIDAD	L/s	L/s	h	h		L/s
Pistola de limpieza	1,00	2,50	2,50	0,10	8,00	0,01	0,03
Amoladora angular	1,00	12,00	12,00	0,16	8,00	0,02	0,24
						<b>QTrZ4</b>	<b>0,27</b>

**Zona 5**

Herramienta/Equipo Neumático	Cantidad ( C )	Consumo Específico (Qe)	Consumo Total Teor. (Qte)	Tiempo de uso (Tu)	Tiempo Referencial (Tr)	Factor de Utilización (Fu)	Consumo Total Real (QTr)
	UNIDAD	L/s	L/s	h	h		L/s
Maquina Sandblasting	1,00	12,00	12,00	2,99	8,00	0,37	4,49
						<b>QTrZ5</b>	<b>4,49</b>

**Zona 6**

Herramienta/Equipo Neumático	Cantidad ( C )	Consumo Específico (Qe)	Consumo Total Teor. (Qte)	Tiempo de uso (Tu)	Tiempo Referencial (Tr)	Factor de Utilización (Fu)	Consumo Total Real (QTr)
	UNIDAD	L/s	L/s	h	h		L/s
Pistolas de Pintura Industrial	2,00	6,00	12,00	4,50	8,00	0,56	6,75
						<b>QTrZ6</b>	<b>6,75</b>

### Zona 7

Herramienta/Equipo Neumático	Cantidad (C)	Consumo Específico (Qe)	Consumo Total Teor. (Qte)	Tiempo de uso (Tu)	Tiempo Referencial (Tr)	Factor de Utilización (Fu)	Consumo Total Real (QTr)
	UNIDAD	L/s	L/s	h	h		L/s
Taladro Perles	1,00	5,00	5,00	0,59	8,00	0,07	0,37
Atornillador	1,00	5,00	5,00	0,43	8,00	0,05	0,27
						<b>QTrZ7</b>	<b>0,64</b>

Sumando los consumos totales individuales por zona, podemos calcular el consumo total requerido en la planta.

$$QTr = \sum QTrZn = QTrZ1 + QTrZ2 + QTrZ3 + QTrZ4 + QTrZ5 + QTrZ6 + QTrZ7$$

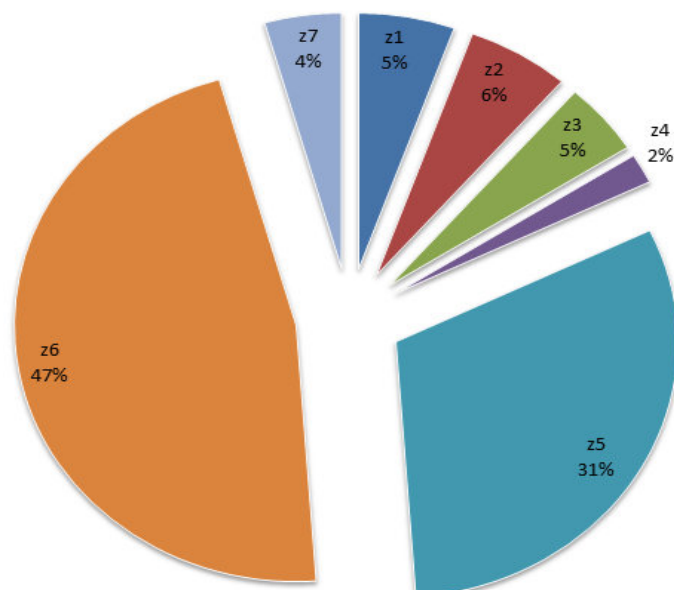
$$QTr = 0,80 + 0,85 + 0,66 + 0,27 + 4,49 + 6,75 + 0,64$$

$$QTr = 14,46 \left( \frac{l}{s} \right)$$

Para transformar el valor a SCFM:

$$QTr = 14,46 \left( \frac{l}{s} \right) * \left( \frac{60s}{1min} \right) * \left( \frac{1pie^3}{28,32l} \right) = 30,63 \frac{pie^3}{min} (SCFM)$$

**Porcentaje de Requerimiento de Aire Comprimido**



**Fig. 3.1 Participación de Demanda de Aire por Zona**

### 3.3.2. CALCULO DE FACTOR DE SIMULTANEIDAD

Como se mencionó en el capítulo 2 el factor de simultaneidad es un factor que depende directamente del número de herramientas que requieren aire comprimido, en la bibliografía se dispone de diferentes tablas y gráficas que se han determinado de la experiencia. El número de herramientas disponibles en la planta se detalla a continuación:

**Tabla 3.16 Número de Herramientas Neumáticas.**

ZONA	Herramientas/Equipos Neumáticos	Cantidad
		UNIDAD
Z1	Pistola de limpieza	2,00
	Llave de impacto >1/2"	1,00
	Inflador de llantas	1,00
	Pistola Pulverizadora	1,00
	Atornillador de par regulable	1,00
Z3	Banco prueba de presiones.	1,00
Z4	Pistola de limpieza	1,00
	Amoladora angular	1,00
Z5	Maquina Sandblasting	1,00
Z6	Pistolas de Pintura Industrial	2,00
Z7	Taladro Perles	1,00
	Atornillador	1,00
	<b>TOTAL</b>	<b>14,00</b>

Fuente: Autor

Con este dato según la **tabla 2,1** el factor de simultaneidad es:

$$F_s = 0,65.$$

La modificación del caudal requerido sería el caudal necesario.

$$Q_n = Q_{Tr} * F_s \text{ Ecuación (3.2) Caudal Necesario.}$$

$$Q_n = 30,63 * 0,65 = 19,90 \text{ SCFM}$$

### **3.3.3. DETERMINACIÓN DE FACTOR DE FUGAS**

Por ser el diseño de una instalación nueva, con todos sus elementos nuevos y que además se realizaran pruebas de estanqueidad, se espera tener un valor bajo de fugas, para el diseño y cálculo del requerimiento de aire en la planta se toma en cuenta un 5% de exceso en el requerimiento por este concepto, como se recomienda en la teoría del capítulo 2.

$$F_f = 5\%$$

### **3.3.4. DETERMINACIÓN DE FACTOR DE EXPANSIÓN.**

En este factor se asigna un valor de 35% del requerimiento total, para tenerlo disponible en futuras ampliaciones, tanto en la red de aire comprimido, como en equipos, herramientas u horas de utilización de lo ya existente.

$$F_e = 35\%$$

### **3.3.5. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE ERROR**

Ya que cálculo de aire requerido la planta industrial no es una tarea sencilla, y que no es un valor netamente constante, se considera importante determinar un factor de error del 5% en toma de datos y cálculos.

$$F_{err} = 5\%$$

### **3.3.6. FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTURA**

Teniendo ya el caudal necesario calculado en términos de SCFM, para determinar el porcentaje de corrección por altura, se calcula el caudal

requerido a la altura real de la instalación en términos ACFM, para posteriormente hacer el análisis de la variación porcentual.

Como se menciona en el capítulo 2, la propiedad más sensible del aire con respecto a la variación de la altura es el volumen. El cambio en el volumen por efectos de la altura es consecuencia del cambio de la densidad del aire.

Para la ciudad de Quito, donde será instalado el sistema de aire comprimido, se maneja una altura de 2850 metros sobre el nivel del mar (msnm). Para calcular la densidad del aire a esta altura, se interpola los datos de la **Tabla 2.2** entre los valores de las alturas (2743-3000 msnm). Para calcular el volumen del aire en condiciones reales se utiliza la siguiente ecuación.

$$V_2 = \frac{d_1 \cdot v_1}{d_2} \text{ Ecuación (2.3)}$$

$d_2$  = densidad del aire ambiente a altura real (2850 msnm)

$$d_2 = 0,9255 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$d_1$  = densidad de aire ambiente a nivel del mar

$$d_1 = 1,2254 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

La fórmula anterior también es válida para caudales por lo tanto:

$$V_2 = Q_{n2} \text{ (ACFM)}$$

$$V_1 = Q_n = 19,90 \text{ (SCFM)}$$

Entonces:

$$Q_{n2} = \frac{d_1 \cdot Q_n}{d_2}$$

$$Q_{n2} = \frac{1,2254 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 19,90 \text{ [SCFM]}}{0,9255 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}$$

$$Qn2 = 26,35 \text{ [ACFM]}$$

Se calcula la diferencia porcentual entre el valor del caudal calculado inicialmente y el valor corregido por el cambio de densidades por altitud.

$$Dif\% = \frac{26,35 - 19,90}{26,35}$$

$$Dif\% = 0,244 \approx 25\%$$

Entonces el factor de corrección por altura (**Fca**) es de **25%**.

Teniendo considerado ya todos los factores multiplicativos se calcula el caudal necesario corregido, que será el definitivo para los cálculos de dimensionamiento.

### 3.3.7. CALCULO DE CAUDAL NECESARIO CORREGIDO

Finalmente el valor total corregido del caudal queda de la siguiente manera:

**Tabla 3.17 Resumen de Cálculo Final de Caudal Requerido**

DESCRIPCION	CAUDAL	
QTn	19,90SCFM	
Factor de fugas 5%	1,00	
Factor de expansión 35%	6,97	
Factor de error %5	1,00	
Factor por altura 25%	4,98	
<b>QTnc</b>	<b>33,83</b>	<b>ACFM</b>

Fuente: Autor.

El valor mínimo que deberá suministrar la unidad compresora que se seleccione para la red es de 33,83 SCFM. Este caudal se reparte a cada área de trabajo y a cada punto de consumo por eso se utilizan los porcentajes de utilización de aire calculados anteriormente para cada zona indicados en la **Fig.3.1.**

De esta manera queda distribuidos los requerimientos de caudal de la siguiente manera:

**Tabla 3.18 Caudal Requerido por Punto de Consumo**

ZONA	Utilización de aire	Caudal por Zona	Puntos de consumo	Caudal por Punto
	%	ACFM		ACFM
Z1	0,06	1,86	P1	0,93
			P2	0,93
Z2	0,06	1,99	P3	1,00
			P4	1,00
Z3	0,05	1,55	P5	1,55
Z4	0,02	0,64	P6	0,64
Z5	0,31	10,50	P7	10,50
Z6	0,47	15,80	P8	7,90
			P9	7,90
Z7	0,04	1,49	P10	1,49

Fuente: Autor.

### 3.4. DIMENSIONAMIENTO

Para el cálculo de los diámetros mínimos requerido en la red de aire comprimido, se analiza cada tramo donde circulara el aire. Además hay que recordar que mientras más grande se pueda dimensionar la red en cuestión de diámetros, menor será la caída de presión, y en general serán mejores las



características de funcionamiento, como la velocidad del fluido. Hay que recordar que se debe mantener una velocidad subsónica, con el objetivo de mantener las características del fluido estables, de esta forma se evita problemas como el golpe de ariete en las tuberías.

Para esto, y basados en el lay out preliminar presentado en el **ANEXOB**, se define a continuación los tramos donde se realizara un análisis suponiendo que todos los puntos de consumo, están en funcionamiento en un mismo momento.

**Tabla 3.19 Tramos de la Red de Aire**

<b>TRAMOS</b>	<b>TIPO</b>
COMP-A	LINEA PRINCIPAL
A-P1	LINEA SECUNDARIA
A-B	LINEA PRINCIPAL
B-P2	LINEA SECUNDARIA
B-C	LINEA PRINCIPAL
C-P3	LINEA SECUNDARIA
C-D	LINEA PRINCIPAL
D-P4	LINEA SECUNDARIA
D-E	LINEA PRINCIPAL
E-P5	LINEA SECUNDARIA
E-F	LINEA PRINCIPAL
F-P6	LINEA SECUNDARIA
F-G	LINEA PRINCIPAL
G-P7	LINEA SECUNDARIA
G-H	LINEA PRINCIPAL
H-P8	LINEA SECUNDARIA
H-I	LINEA PRINCIPAL
I-P9	LINEA SECUNDARIA
I-J	LINEA PRINCIPAL
J-P10	LINEA SECUNDARIA

Fuente: Autor.

Se calcula el caudal de aire que pasa por cada uno de los tramos identificados, basado en los caudales de cada punto de consumo, y sus diferencias a lo largo de la línea principal. En el siguiente cuadro se muestran los caudales calculados para cada tramo, con la fórmula utilizada:

**Tabla 3.20 Caudal por Tramo de Tubería.**

TRAMOS	FORMULA Q	CAUDAL	
		ACFM	M3/MIN
COMP-A	QT	33,83	0,96
A-P1	QP1	0,93	0,03
A-B	$QAB=QT-QP1$	32,90	0,93
B-P2	QP2	0,93	0,03
B-C	$QBC=QAB-QP2$	31,97	0,91
C-P3	QP3	1,00	0,03
C-D	$QCD=QBC-QP3$	30,97	0,88
D-P4	QP4	1,00	0,03
D-E	$QDE=QCD-QP4$	29,97	0,85
E-P5	QP5	1,55	0,04
E-F	$QEF=QDE-QP5$	28,42	0,80
F-P6	QP6	0,64	0,02
F-G	$QFG=QEF-QP6$	27,78	0,79
G-P7	QP7	10,50	0,30
G-H	$QGH=QFG-QP7$	17,28	0,49
H-P8	QP8	7,90	0,22
H-I	$QHI=QGH-QP8$	9,38	0,27
I-P9	QP9	7,90	0,22
I-J	$QIJ=QHI-QP9$	1,48	0,04
J-P10	QP10	1,49	0,04

Fuente: Autor.

Una vez identificados los caudales de cada tramo, necesitamos definir una longitud para cada uno de ellos.

Para esto se utilizara la longitud de tubería que es resultado de nuestro pre diseño presentado en el **ANEXO B** preliminar, y para los accesorios se utilizaran longitudes equivalentes, que se muestran en la siguiente figura.

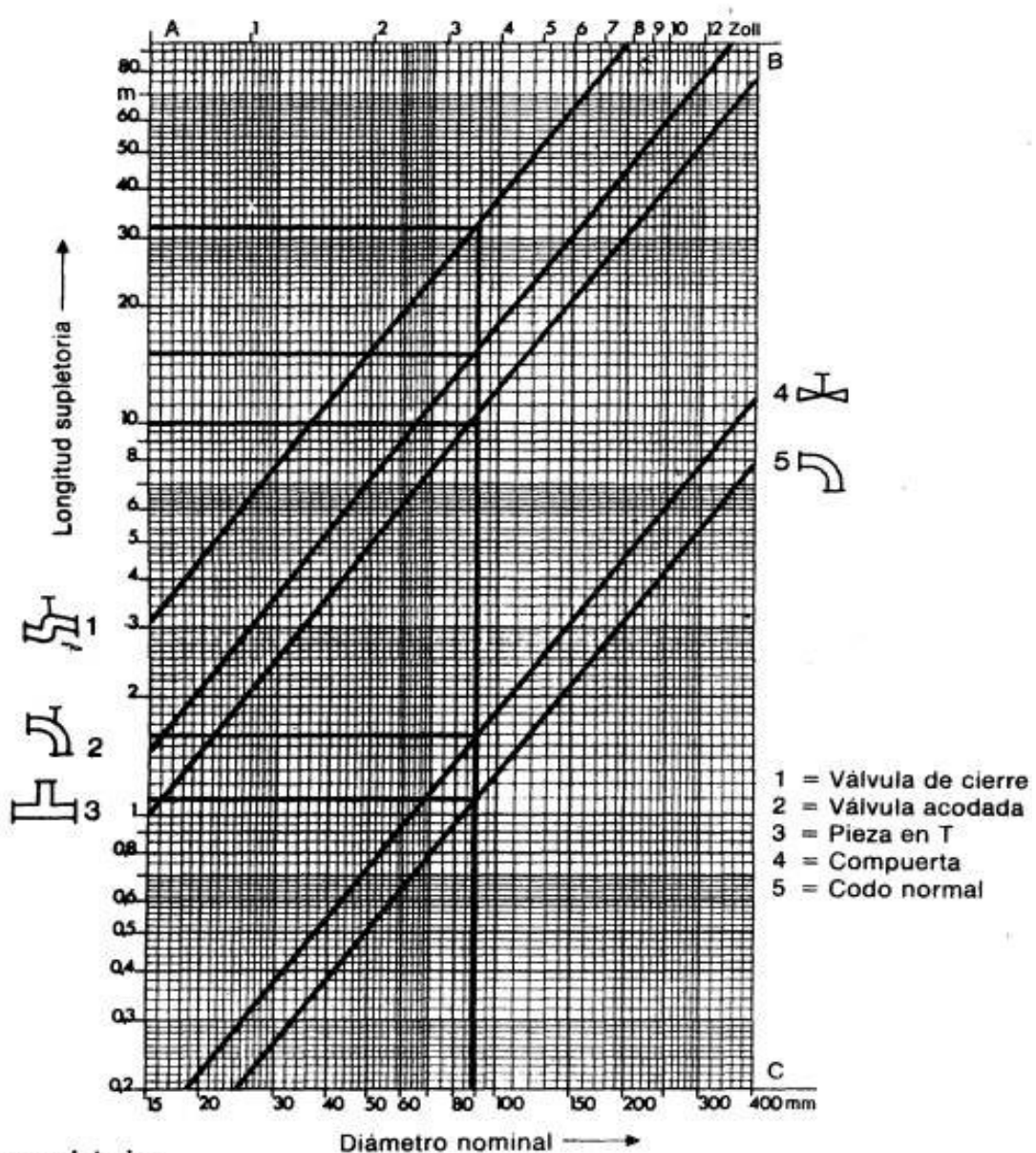


Fig. 3.2 Nomograma de Longitudes Equivalentes<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Ilustración tomada de SCHAUM, P. (2005), Mecánica de los fluidos e hidráulica. España: McGraw-Hill.

Este análisis se realizará por tramo para poder calcular el mínimo diámetro requerido para cada tramo definido anteriormente, para utilizar el grafico anterior necesitamos del diámetro de los accesorios, en este proyecto se definirá a todos los accesorios inicialmente, con un diámetro Max de 30mm.

Los resultados del cálculo de longitud total y equivalente para cada tramo se indican a continuación.

**Tablas 3.21 Longitudes Equivalentes y Totales por Tramo.**

COMP-A				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	4,00	0,26	1,04
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	2,56		2,56
TUBERIA VERTICAL	M	2,80		2,80
			LONG TOTAL (M)	9,27

A-P1				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	0,60		0,60
TUBERIA VERTICAL	M	2,60		2,60
			LONG TOTAL (M)	6,85

A-B				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	0,00	0,26	0,00
TEE	U	2,00	2,50	5,00
TUBERIA HORIZONTAL	M	3,79		3,79
TUBERIA VERTICAL	M	0,00		0,00
			LONG TOTAL (M)	8,79

B-P2				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	0,60		0,60
TUBERIA VERTICAL	M	2,60		2,60
			LONG TOTAL (M)	6,85

B-C				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	0,00	0,26	0,00
TEE	U	2,00	2,50	5,00
TUBERIA HORIZONTAL	M	6,01		6,01
TUBERIA VERTICAL	M	0,00		0,00
			LONG TOTAL (M)	11,01

C-P3				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	0,60		0,60
TUBERIA VERTICAL	M	2,60		2,60
			LONG TOTAL (M)	6,85

C-D				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	0,00	0,26	0,00
TEE	U	2,00	2,50	5,00
TUBERIA HORIZONTAL	M	6,00		6,00
TUBERIA VERTICAL	M	0,00		0,00
			LONG TOTAL (M)	11,00

D-P4				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	0,60		0,60
TUBERIA VERTICAL	M	2,60		2,60
			LONG TOTAL (M)	6,85

D-E				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	0,00	0,26	0,00
TEE	U	2,00	2,50	5,00
TUBERIA HORIZONTAL	M	6,00		6,00
TUBERIA VERTICAL	M	0,00		0,00
			LONG TOTAL (M)	11,00

E-P5				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	0,60		0,60
TUBERIA VERTICAL	M	2,60		2,60
			LONG TOTAL (M)	6,85

E-F				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	0,00	0,26	0,00
TEE	U	2,00	2,50	5,00
TUBERIA HORIZONTAL	M	5,68		5,68
TUBERIA VERTICAL	M	0,00		0,00
			LONG TOTAL (M)	10,68

F-P6				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	4,41		4,41
TUBERIA VERTICAL	M	2,60		2,60
			LONG TOTAL (M)	10,66

F-G				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	2,00	2,50	5,00
TUBERIA HORIZONTAL	M	16,16		16,16
TUBERIA VERTICAL	M	0,80		0,80
			LONG TOTAL (M)	22,74

G-P7				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	4,41		4,41
TUBERIA VERTICAL	M	2,60		2,60
			LONG TOTAL (M)	10,66



G-H				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	0,00	0,26	0,00
TEE	U	3,00	2,50	7,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	6,05		6,05
TUBERIA VERTICAL	M	0,00		0,00
			LONG TOTAL (M)	13,55

H-P8				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	3,00	0,26	0,78
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	0,60		0,60
TUBERIA VERTICAL	M	3,00		3,00
			LONG TOTAL (M)	7,25

H-I				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	1,00	0,26	0,26
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	8,35		8,35
TUBERIA VERTICAL	M	0,00		0,00
			LONG TOTAL (M)	11,11

I-P9				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	1,00	0,26	0,26
TEE	U	0,00	2,50	0,00
TUBERIA HORIZONTAL	M	0,00		0,00
TUBERIA VERTICAL	M	3,00		3,00
			LONG TOTAL (M)	3,63

I-J				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	0,00	0,37	0,00
CODO 90	U	5,00	0,26	1,30
TEE	U	1,00	2,50	2,50
TUBERIA HORIZONTAL	M	15,11		15,11
TUBERIA VERTICAL	M	1,50		1,50
			LONG TOTAL (M)	20,41

J-P10				
ELEMENTOS	UNIDAD	CANT.	Long Equivalente (M/U)	Long Total (M)
VALVULA DE BOLA	U	1,00	0,37	0,37
CODO 90	U	1,00	0,26	0,26
TEE	U	0,00	2,50	0,00
TUBERIA HORIZONTAL	M	0,00		0,00
TUBERIA VERTICAL	M	1,80		1,80
			LONG TOTAL (M)	2,43

### **3.4.1. MÁXIMA CAÍDA DE PRESIÓN**

Para calcular los diámetros mínimos que requiere tanto la línea principal como las líneas secundarias se emplearan dos métodos, el primero, el que conoceremos como tramo a tramo, el segundo el del camino crítico. Cada uno tiene una presión máxima admisible diferente. Para el cálculo de diámetro de las líneas por tramos se tomaran los siguientes valores:

- Para líneas principales 0,04 bares.
- Para líneas secundarias 0,04 bares.

Basado en la teoría mencionada en el Capítulo 2, para el estudio de la red de aire mediante el camino crítico se tomará una caída de presión máxima permisible de 0,1 bares para el cálculo del diámetro de la línea principal.

### **3.4.2. PRESIÓN DE OPERACIÓN**

El consumo específico que se ha utilizado para cálculos posteriores han sido calculados suponiendo una presión de operación de 6 bares.

Para el dimensionamiento de la red se va a calcular los diámetros con esta presión para tener concordancia con los cálculos realizados previamente, así el compresor que se instale pueda trabajar a una mayor presión, las herramientas con las que se va a trabajar, esta presión de operación es suficiente.

### 3.4.3. CALCULO DE DIÁMETROS MÍNIMOS

Para realizar el cálculo de los diámetros mínimos de los distintos tramos se va a utilizar la **Ecuación 2.5**, donde se ha tomado en cuenta un flujo subsónico, por lo que la variable de velocidad no entra en estudio. Para la determinación final del diámetro mínimo de la línea principal se analizara de la siguiente manera, de tramo por tramo se comparan y se elige el diámetro mínimo requerido de mayor valor.

Por otro lado se calcula el diámetro utilizando un camino crítico, que será, considerando la longitud del punto de consumo más distante a la unidad compresora, y tomando en cuenta que se consume solamente el caudal requerido por ese punto al mismo tiempo.

Ejemplo de cálculo de diámetro mínimo para el tramo A-Comp:

$$D \geq \left( \frac{0,07 * Q^{1,85} * L}{(P^x)^2 * \Delta P} \right)^{\frac{1}{5}} \text{ Ecuación (2.5)}$$

Dónde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q=QT= 0,96 m<sup>3</sup>/min.

L: 9,27 m.

Px: 6 bar.

$\Delta P$ : 0,04 bar

Entonces:

$$D \geq \left( \frac{0,07 * 0,96^{1,85} * 9,27}{(6)^2 * 0,04} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$D \geq 0,84 \text{ in}, 21,33 \text{ mm}$$

En la siguiente tabla se muestra entonces los diámetros mínimos requeridos para los tramos de la red de aire comprimido.

**Tabla 3.22 Diámetros Mínimos Requeridos por Tramo.**

PX	6,00	(BARES) (87 PSI)		LONGITUD	$\Delta p$	Diametro Min	Diametro Min
		CAUDAL					
TRAMOS	TIPO	(ACFM)	(m <sup>3</sup> /min)	(m)	(bar)	(in)	(mm)
COMP-A	LINEA PRINCIPAL	33,83	0,96	9,27	0,04	0,84	21,32
A-P1	LINEA SECUNDARIA	0,93	0,03	6,85	0,04	0,21	5,31
A-B	LINEA PRINCIPAL	32,90	0,93	8,79	0,04	0,82	20,87
B-P2	LINEA SECUNDARIA	0,93	0,03	6,85	0,04	0,21	5,31
B-C	LINEA PRINCIPAL	31,97	0,91	11,01	0,04	0,85	21,60
C-P3	LINEA SECUNDARIA	1,00	0,03	6,85	0,04	0,21	5,45
C-D	LINEA PRINCIPAL	30,97	0,88	11,00	0,04	0,84	21,35
D-P4	LINEA SECUNDARIA	1,00	0,03	6,85	0,04	0,21	5,45
D-E	LINEA PRINCIPAL	29,97	0,85	11,00	0,04	0,83	21,09
E-P5	LINEA SECUNDARIA	1,55	0,04	6,85	0,04	0,25	6,41
E-F	LINEA PRINCIPAL	28,42	0,80	10,68	0,04	0,81	20,56
F-P6	LINEA SECUNDARIA	0,64	0,02	10,66	0,04	0,20	5,05
F-G	LINEA PRINCIPAL	27,78	0,79	22,74	0,04	0,93	23,71
G-P7	LINEA SECUNDARIA	10,50	0,30	10,66	0,04	0,56	14,22
G-H	LINEA PRINCIPAL	17,28	0,49	13,55	0,04	0,71	17,94
H-P8	LINEA SECUNDARIA	7,90	0,22	7,25	0,04	0,47	11,85
H-I	LINEA PRINCIPAL	9,38	0,27	11,11	0,04	0,54	13,75
I-P9	LINEA SECUNDARIA	7,90	0,22	3,63	0,04	0,41	10,32
I-J	LINEA PRINCIPAL	1,48	0,04	20,41	0,04	0,31	7,84
J-P10	LINEA SECUNDARIA	1,49	0,04	2,43	0,04	0,20	5,14

Fuente: Autor

Se puede observar que el mayor valor mínimo del diámetro de una línea secundaria es:

$$Ds1=14,22 \text{ mm}$$

Para la línea principal es:

$$Dp1=23,71 \text{ mm}$$

Para el cálculo del diámetro de la línea principal por el segundo método se aplicara la misma fórmula con los parámetros como de caída de presión, longitud, caudal explicados anteriormente.

La longitud desde el compresor, hasta el punto más alejado a él, es la suma de los tramos:

$$L(\text{COM-J})=(\text{COM-A})+(A-B)+(B-C)+(C-D)+(D-E)+(E-F)+(F-G)+(G-H)+(H-J)$$

$$L(\text{COMP-J})=9,27+8,79+11,01+11+11+10,68+22,74+13,55+15,11$$

$$L(\text{COMP-J})=113,15 \text{ (m)}.$$

Esta sería la distancia crítica de la línea principal. El caudal con el que se calcula es el caudal total requerido en la planta, para crear las peores condiciones posibles en ese punto de consumo.

$$Dp2 \geq \left( \frac{0,07 * Q^{1,85} * L}{(Px)^2 * \Delta P} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Dónde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q= QTnc =33.83 ACFM= 0,96 m<sup>3</sup>/min.

L: 113,15 m.

Px: 6 bar.

ΔP: 0,1 bar

$$Dp2 \geq \left( \frac{0,07 * 0,96^{1,85} * 113,15}{(6)^2 * 0,10} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$Dp2 \geq 1,15 \text{ in}, 29,30\text{mm} \cong 30\text{mm}$$

Ahora se calcula la diferencia % entre el diámetro mínimo en condiciones normales (Dp1), con el diámetro mínimo en las peores circunstancias para aplicarlo a las líneas secundarias (Dp2).

$$Dif\% = \frac{29,30 - 23,71}{29,30}$$

$$Dif\% = 0,19 \approx 19\%$$

Hay una diferencia de 19% entre las condiciones normales y las peores condiciones en la línea, por lo que se calcula el nuevo diámetro mínimo para líneas secundarias incluyendo esta corrección.

$$Ds2=(Ds1*Dif\%)+Ds1 \text{ Ecuación (3.3)}$$

$$Ds2=16,92\text{mm} \cong 17\text{mm}$$

**Tabla 3.23 Diámetros Definitivos para las Tuberías de la Red.**

Tipo de Línea	Diámetro Mínimo Interno (mm)
Principal	30mm
Secundaria	17mm

Fuente: Autor.

### 3.5. SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA RED

En esta sección se va a escoger la mejor opción para las conveniencias tanto del diseño, como para la empresa. Esto quiere decir que los materiales que se analizan a continuación han sido preseleccionados en un acuerdo entre la empresa y el diseñador de este proyecto, tomando en cuenta factores importantes como la viabilidad técnica. Existen tres materiales que se consideran en utilizar en esta red de aire. El cobre, acero inoxidable, y tubería plástica, específicamente polipropileno. Entre otros motivos por lo que se a pre seleccionado estos materiales para la red, es que son materiales que no presentan corrosión, y este, al ser un sistema que no tiene una frecuencia de utilización continua, la presencia de condensados estancados pueden generar serios problemas de corrosión en las tuberías.

Para la selección del material adecuado se utiliza la ayuda de una herramienta como es una matriz de decisión. Los siguientes serán los factores de decisión:

- Costo

Este factor evalúa el costo de la unidad de tubería de mayor diámetro (30mm), en los diferentes materiales, para realizar el comparativo.

Se evaluará este factor de 0-10. (0=excesivamente costoso),(10=muy económico). El costo de una instalación al ser un factor sumamente importante recibe un peso del 25%.

- Máxima presión de operación

Este es un factor vital para una instalación de aire comprimido. En este proyecto se ha mencionado anteriormente una presión de operación de 6 bares. Pero a esto hay que añadir un factor de seguridad que en este caso será de 2. Presión Max. de operación=  $6 \times 2 = 12 \text{ bar}$ .

Con ese concepto este factor se evaluara de 0 o 10. (0=si es <12 bares, 10>= 12 bares). El peso de este factor es: 20%

- Reutilización de elementos.

Este factor se refiere a la reutilización de materiales que se dispongan en la bodega de la planta, y que no sean de utilidad principal para la línea de negocio de INCOAYAM. Es de suma importancia porque reducirían el costo de la inversión inicial necesaria.

Se evaluara del 0 – 10 (0= no disponible), (10=Totalmente disponible)

El peso de este factor es de 15%

- Facilidad de instalación.

Es importante considerar este factor para saber con qué mano de obra, y tiempo debemos contar para la instalación de las tuberías. También se toma en cuenta en esta evaluación la necesidad de herramientas especiales para las juntas de la tubería. Ejemplo: en el caso de la tubería de plástico, las termofusoras.

Se evaluara de 0 – 10 (0=muy complicado), (10=extremadamente fácil)

El peso de esta característica es de: 10%.



- Características del flujo

Esta evaluación es netamente a las características de rugosidad del material que puedan causar problemas en el flujo normal del gas.

Se evaluará 0-10 (0=crea altos disturbios), (10=permite un flujo laminar). El peso para esta evaluación es de 8%.

- Temperatura

La temperatura que soporta un material antes de perder sus características químicas y físicas es importante en cualquier evaluación de materiales. Sin embargo en este proyecto no se manejarán gases volátiles, tampoco es una zona con riesgos de incendio, por lo que se evaluarán las respuestas de los materiales a 50°C.

Se evaluará 0-10 (0=pierde sus características), (10=se mantiene igual). El peso de este factor 12%

- Disponibilidad

La disponibilidad del material en el mercado es importante tomar en cuenta. Hay que evaluar la disponibilidad principalmente de accesorios en los materiales que se proponen.

Se evaluará 0-10 (0=no disponible), (10=disponible todo el tiempo). La ponderación de este factor es 10%.

En base a esta información se realiza la siguiente matriz de decisión, para seleccionar la mejor alternativa para los materiales.

**Tabla 3.24 Matriz de Decisión Selección de Material de la Red.**

	PESO	COBRE		ACERO INOX		POLIPROPILENO	
		CALIF (0-10)	TOTAL	CALIF (0-10)	TOTAL	CALIF (0-10)	TOTAL
COSTO	25%	5,00	1,25	3,00	0,75	8,00	2,00
MAX. PRESION DE OP.	20%	10,00	2,00	10,00	2,00	10,00	2,00
REUTILIZACIONDE ELEMENTOS	15%	5,00	0,75	2,00	0,30	10,00	1,50
FACILIDAD DE ISTALACION	10%	8,00	0,80	4,00	0,40	8,00	0,80
CARACTERISTICAS DE FLUJO	8%	7,00	0,56	9,00	0,72	9,00	0,72
TEMPERATURA	12%	10,00	1,20	10,00	1,20	5,00	0,60
DISPONIBILIDAD	10%	9,00	0,90	6,00	0,60	9,00	0,90
<b>TOTALES</b>	<b>100%</b>		<b>7,46</b>		<b>5,97</b>		<b>8,52</b>

Fuente: Autor.

Como se puede ver en la tabla de resultados, el polipropileno es el material más conveniente para ser utilizado en la red de aire de este proyecto. A continuación algunas características técnicas del material:

**POLIPROPILENO**

**Tabla 3.25 Propiedades Específicas del Polipropileno.**

<b>Propiedades Físicas</b>	
Absorción de Agua - Equilibrio ( % )	0,03
Densidad ( g cm <sup>-3</sup> )	0,9
Índice Refractivo	1,49
Índice de Oxígeno Límite ( % )	18
Inflamabilidad	Combustible
Resistencia a los Ultra-violetas	Aceptable
<b>Propiedades Mecánicas</b>	
Alargamiento a la Rotura ( % )	150-300, biax. >50
Coefficiente de Fricción	0,1-0,3
Dureza - Rockwell	R80-100
Módulo de Tracción ( GPa )	0,9-1,5 - biax. 2,2-4,2,
Resistencia a la Abrasión - ASTM D1044	13-16
Resistencia a la Tracción ( MPa )	25-40, biax. 130-300,
Resistencia al Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> )	20-100

<b>Propiedades Eléctricas</b>	
Constante Dieléctrica @1MHz	2,2-2,6
Factor de Disipación a 1 MHz	0,0003 - 0,0005
Resistencia Dieléctrica ( kV mm <sup>-1</sup> )	30-40
Resistividad Superficial ( Ohm/sq )	10 <sup>13</sup>
Resistividad de Volumen a ^C ( Ohmcm)	10 <sup>16</sup> -10 <sup>18</sup>
<b>Propiedades Térmicas</b>	
Calor Específico ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1700 - 1900
Coeficiente de Expansión Térmica ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	100-180
Conductividad Térmica a 23C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,1-0,22
Temperatura Máxima de Utilización ( C )	90-120
Temperatura Mínima de Utilización ( C )	-10 a -60
Temperatura de Deflex. en Caliente - 0.45MPa	100-105
Temperatura de Deflex. en Caliente - 1.8MPa	60-65

**Fuente:** [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html)

### 3.6. SELECCIÓN DE LA UNIDAD COMPRESORA

El compresor que se instalara en la planta de INCOAYAM, debe ser un compresor que se elija a partir de los datos calculados, anteriormente. Principalmente hay que tomar en cuenta dos características principales. La primera es la presión de operación de las herramientas (6 bares), y la segunda, el consumo específico de la instalación (33,83 SCFM). Es necesario recordar que el valor de caudal requerido ya fue calculado con una corrección por altura, entonces no hace falta corregir los datos de caudal que tienen los manuales técnicos de los compresores en condiciones estándar.

Hay que aclarar que en el mercado no se encontrara un compresor que entregue un flujo de 33,83 SCFM, exactamente, por eso hay que seleccionar un compresor que este dentro de un rango adecuado, generalmente el inmediato superior. Además hay que tener en cuenta que para el cálculo del

consumo requerido para la planta ya se incorporó un factor correctivo por altura, por lo que no es necesario volver a aplicar una corrección al caudal que dicen los manuales de los compresores.

Para este proyecto se analizara la viabilidad de instalar dos tipo de unidades compresoras, la primera un compresor de tornillo, el segundo un compresor alternativo o (de pistón).

Con el objetivo de decidir sobre el tipo de compresor que se utilizará, se empleará como herramienta una matriz de decisión, donde se pondrán los factores más relevantes en este proyecto. Al igual que la matriz elaborada anteriormente, en esta se evaluaran los factores con un puntaje de (0-10) Donde 0 es sinónimo de muy malo, 10 es sinónimo de excelente. Los resultados son los siguientes.

**Tabla 3.26 Matriz de Decisión Selección de Compresor.**

		Comp. De Pistón		Comp. De Tornillo	
		CALIF (0-10)	TOTAL	CALIF (0-10)	TOTAL
	<b>Peso</b>				
Costo	50%	8	4,00	5	2,50
Eficiencia	10%	6	0,60	9	0,90
Consumo de energía	10%	5	0,50	8	0,80
Costo de mantenimiento	10%	7	0,70	6	0,60
Calidad de aire	10%	7	0,70	9	0,90
Vida útil	10%	8	0,80	9	0,90
<b>TOTAL</b>	100%		<b>7,30</b>		6,60

Fuente: Autor.

### **Análisis:**

Como podemos observar un compresor de tornillo es una maquina mucho más eficiente para una instalación industrial, pero al ser una tecnología relativamente nueva, su costo inicial es muy alto.


A pesar de la intención de aumentar el presupuesto del proyecto para poder instalar un compresor de tornillo, se determinó que no es conveniente para INCOAYAM, ya que el ciclo de uso del compresor es muy bajo por lo tanto no es viable la inversión para la compra de un compresor de este tipo. Ya que el costo para este proyecto es un factor muy importante, se le asignó una ponderación de 50% en la matriz, por lo que se obtuvo como la mejor opción del tipo de unidad compresora, el compresor de pistón.

Además de buscar en el mercado un compresor de pistón que cumpla con las características técnicas necesarias, se analizara la mejor alternativa en el mercado que cumpla con los siguientes beneficios.

- Adecuado servicio postventa.
- Disponibilidad de repuestos.
- Buena calidad
- Bajo precio.

### 3.6.1. CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESOR SELECCIONADO.

Diseñado para aplicaciones de trabajo pesado como talleres automotores y trabajo de herramientas en línea  
 RPM @ rated HP: 700 @ 10 HP & 1020 @ 15 HP  
 Hasta 15,000 horas de servicio confiable información basada en B-10 vida de baleros  
 Tanque con certificación ASME  
 Doble control para trabajo continuo ó paro/arranque



Modelo	HP	Voltaje/ Fases	Entrega de Aire CFM @ 90/175 PSI	Presión Máx	RPM @ Especificados	Tamaño de Tanque	Conf.
C1103120H*	10	208-230/460V, 3 Ph	37.6/35.2	175 PSI	700	120(Gal)	Horz.
C1103120HD†	10	208-230/460V, 3 Ph	37.6/35.2	175 PSI	700	120(Gal)	Horz.
C115K3120H*	15	208-230/460V, 3 Ph	54.4/51.0	175 PSI	1020	120(Gal)	Horz.

**Fig. 3.3 Compresor Seleccionado<sup>14</sup>**

<sup>14</sup> Fuente: <http://www.mangueras.com.ni/FichasTec/COMPRESORES%20C.pdf>

## **CAPÍTULO 4**

### **4. INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA**

#### **4.1. PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES**

Se realiza una organización de actividades necesarias para ejecutar la instalación y puesta en marcha de la red de aire comprimido. Este diagrama se presenta en el **ANEXO D**.

#### **4.2. ADQUISICIÓN DE MATERIALES**

En base a los planos de pre diseño del sistema presentado en el **ANEXO B**, se genera un listado de materiales y equipos necesarios para la instalación y puesta en marcha del sistema. De estos materiales se realiza el análisis de disponibilidad de materiales en bodega, y necesidad de compra. Posteriormente se procede con el proceso de compra de materiales de la empresa INCOAYAM.

##### **4.2.1. MATERIALES REQUERIDOS.**

En el siguiente listado constan los materiales que se requieren para la instalación y puesta en marcha del sistema de aire comprimido. En la bodega de la planta se disponen de muchos de los materiales requeridos, en la siguiente tabla se hace un análisis de los materiales requeridos vs el inventario en bodega, de esta forma se halla las cantidades necesarias para comprar.

Estos elementos con sus respectivas cantidades son resultado del diseño del capítulo 3.

**Tabla 4.1 Materiales Requeridos por Diseño.**

DESCRIPCION	UNIDAD	REQ.	EXISTENCIA EN BODEGA	COMPRAR	SACAR DE BODEGA
		CANT	CANT	CANT	CANT
TUBERIA PP, PN 20, 32MM	METRO	80,81	100,00	0,00	80,81
TUBERIA PP, PN 20, 20 MM	METRO	38,42	60,00	0,00	38,42
TEE PP, FH x FH x FH, 32 MM	UNIDAD	15,00	10,00	5,00	10,00
CODO 90, PP, FH X FH, 32 MM	UNIDAD	25,00	20,00	5,00	20,00
CODO 90, PP, FH X FH, 20 MM	UNIDAD	25,00	30,00	0,00	25,00
TRANSICION PP-Ac, FH 20 x R 1/2 HNPT	UNIDAD	10,00	15,00	0,00	10,00
REDUCCION PP, FM 32 x FH 20	UNIDAD	14,00	15,00	0,00	14,00
UNION PP, FH X FH, 32 MM	UNIDAD	8,00	27,00	0,00	8,00
UNION PP, FH X FH, 20 MM	UNIDAD	4,00	60,00	0,00	4,00
VALVULA BOLA, PP, FH x FH, 20 MM - PN 16	UNIDAD	13,00	10,00	3,00	10,00
VALV BOLA 1/4"H.NPT(gas.c/am.largo)	UNIDAD	10,00	15,00	0,00	10,00
MANOMETRO PRES.0-300 psig	UNIDAD	10,00	7,00	3,00	7,00
REG AIRE PRESION - 0-10 BAR - 1/4" x 1/4"	UNIDAD	3,00	0,00	3,00	0,00
MANOMETRO PRESION 0-10 BARES 1/8"	UNIDAD	3,00	0,00	3,00	0,00
TEE HG1/2"HNPT 150	UNIDAD	22,00	10,00	12,00	10,00
CODO HG 90° CACHIMBA 1/2" MNPT x 1/2" FNPT	UNIDAD	10,00	2,00	8,00	2,00
BUSHING HG 1/2" x 1/4" - 150	UNIDAD	30,00	50,00	0,00	30,00
NEPLO HG1/4"MNPTx10cm. SCH40	UNIDAD	10,00	4,00	6,00	4,00
NEPLO HG1/2"MNPTx5cm. SCH40	UNIDAD	10,00	5,00	5,00	5,00
COMPRESOR CAPBELD HAUSFELD 35 SCFM 10 HP 120 GL	UNIDAD	1,00	0,00	1,00	0,00
ACOPLE RAPIDO NEUMATICO 1/4" -BR-MACHO	UNIDAD	10,00	15,00	0,00	10,00
CANAL C09 CAL=14 TROQUELADO GALVANIZADO	UNIDAD	4,00	5,00	0,00	4,00
ABRAZADERA AJUSTABLE AA-1"	UNIDAD	20,00	66,00	0,00	20,00
ABRAZADERA AJUSTABLE AA-1/2"	UNIDAD	25,00	123,00	0,00	25,00
CABLE SUCRE 3 x 12 AWG	METRO	5,00	0,00	5,00	0,00
CANAleta LISA 40x25 BLANCO (2 MTS)	UNIDAD	1,00	0,00	1,00	0,00
ACCESORIOS 40X25 BLANCO ANGULO PLANO	UNIDAD	1,00	1,00	0,00	1,00
ACCESORIOS 40x25 BLANCO DERIVACION EN T	UNIDAD	1,00	2,00	0,00	1,00

Fuente: Autor.

Este listado se modifica al avanzar con las actividades de instalación, por ejemplo no se ha tomado en cuenta el material para el techo ni el cercamiento del área del compresor. Esto será añadido en un listado definitivo de materiales y equipos, el cual se presenta en el capítulo 6.

#### **4.2.2. COMPRA DE MATERIALES Y EQUIPOS FALTANTES.**

Para realizar la compra de los equipos, accesorios, y materiales faltantes se emplea el proceso de compra de la empresa INCOAYAM, el cual se describe brevemente a continuación:

- Se realiza una requisición de compra
- El departamento de compras realiza mínimo 2 cotizaciones a diferentes proveedores.
- Se selecciona el proveedor que cumpla el menor precio, la calidad y características técnicas necesarias.
- Compra de material.

Los materiales y equipos totales que han sido comprados para la instalación del sistema se detallan en el CAPÍTULO 6 con sus respectivos costos.

### **4.3. MONTAJE DEL COMPRESOR**

#### **4.3.1. TECHO Y CERCA**

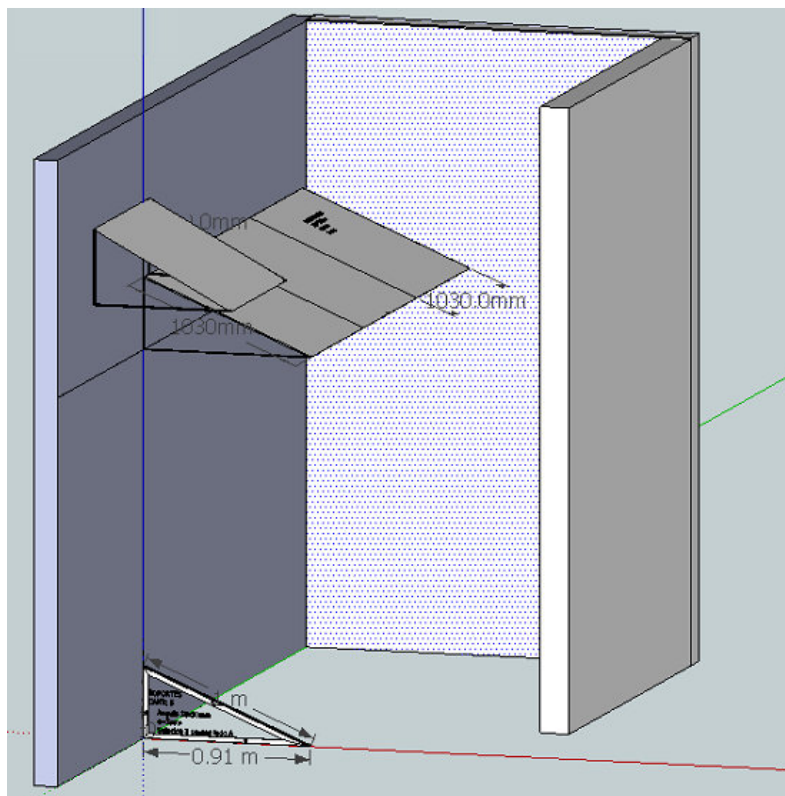
Es necesaria la implementación de un techo para cubrir a la unidad compresora, tomando en cuenta que el lugar donde se estableció su anclaje está a la intemperie.





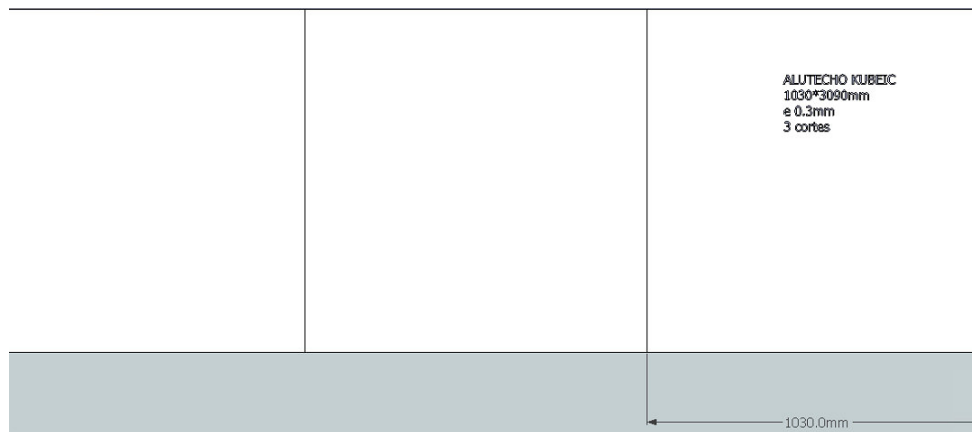
**Fig. 4.1 Zona de Ubicación del Compresor.**

Se diseña un techo ligero con las dimensiones adecuadas, los soportes son triangulares anclados a la pared:

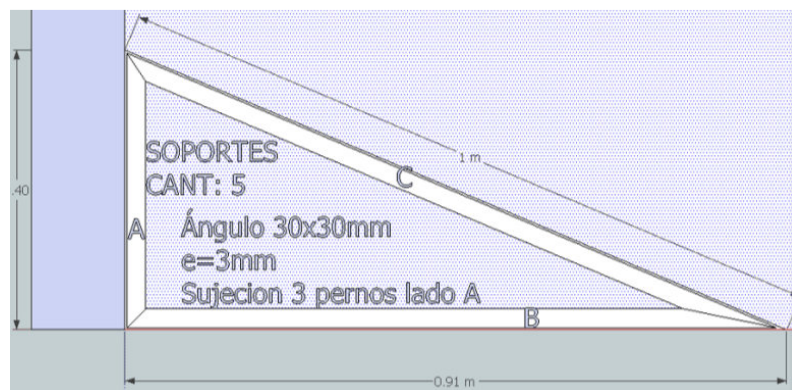


**Fig. 4.2 Diseño de Techo para Compresor.**

Plancha:



Soportes:

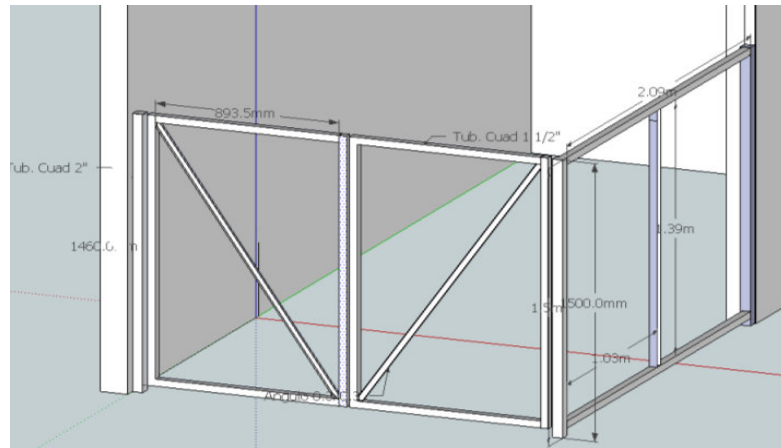


Ensamble y montaje



Fig. 4.3 Techo para Compresor Instalado.

Además se debe implementar un cerco que limite el acceso de cualquier persona al emplazamiento del compresor, por motivos de seguridad humana y de los equipos.



**Fig. 4.4 Diseño de Cerca para Compresor.**



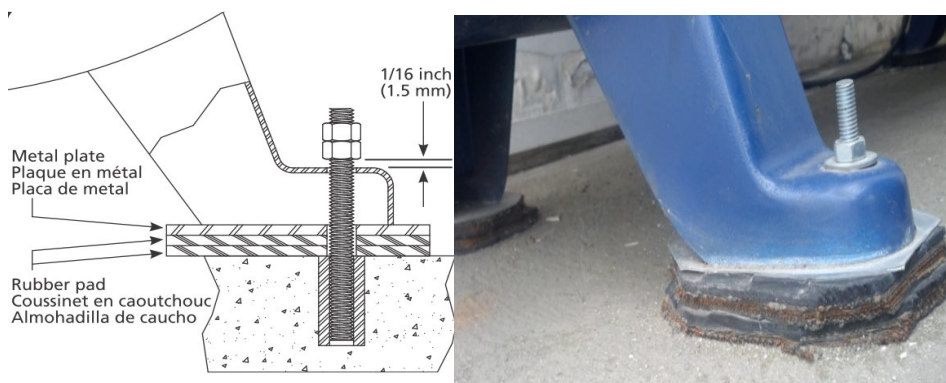
**Fig. 4.5 Cerca del Compresor Instalada.**

La implementación de este cerco se realizó después del anclaje del compresor para facilitar la movilidad del mismo en el proceso de izare y anclaje.

#### **4.3.2. ANCLAJE DEL COMPRESOR**

Para el anclaje del compresor, se recurrió a las recomendaciones del fabricante que se presentan en el **ANEXO E**.

Para absorber las vibraciones excesivas que se producen en la unidad, el fabricante recomienda el anclaje del compresor al piso por medio de cuñas de fijación de 9,5mm x 12,7mm, y una base amortiguada mixta, de caucho y acero en cada soporte, 4 en total. Como se muestra en la siguiente figura.



**Fig. 4.6 Forma de Anclaje del Compresor**

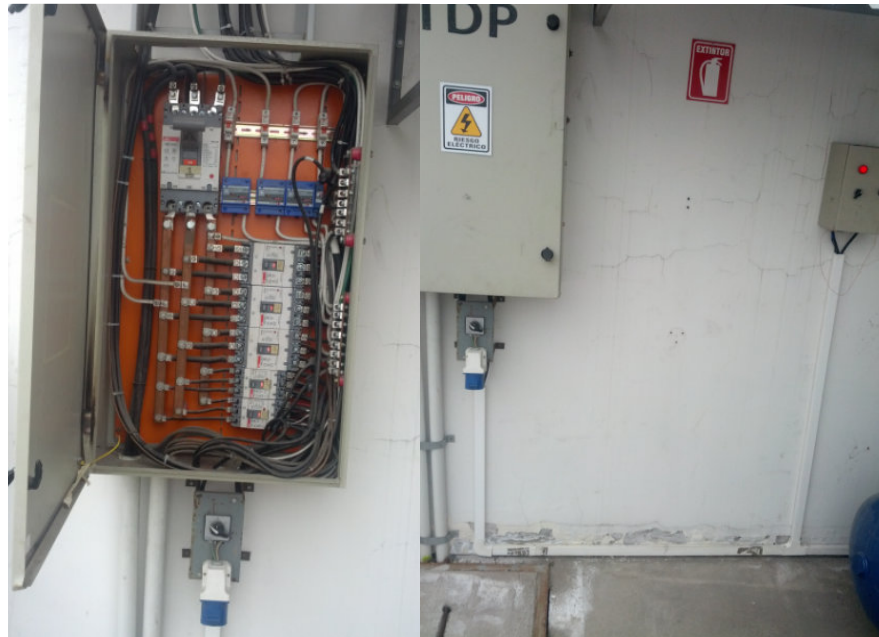
### 4.3.3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

El lugar de anclaje seleccionado para el compresor tiene accesibilidad a una TDP<sup>15</sup>, lo que facilita las instalaciones eléctricas. En la siguiente tabla se indican aspectos de interés sobre las características y requerimientos del motor del compresor obtenidos del manual del mismo.

<b>MARCA</b>	WEG
<b>NUMERO DE SERIE</b>	00736ET3YAL132S
<b>POTENCIA</b>	10 HP @ 1760 RPM
<b>CORRIENTE</b>	AC
<b>FASES</b>	TRIFASICO
<b>VOLTAJE</b>	220 Voltios
<b>FRECUENCIA</b>	60 Hz

<sup>15</sup> TDP: tablero de poder eléctrico, simbología de INCOAYAM.

Tomando en cuenta estas características se procede a la toma de energía de un terminal trifásico de 220 voltios disponible de la TDP1. Para fijar el cable se utilizan canaletas, además se ancla el tablero de control del compresor a la pared. A continuación se presentan imágenes del resultado.



**Fig. 4.7 Conexión Eléctrica.**

#### **4.4. MONTAJE DE LA RED**

Para el montaje de las líneas se requirió de 1 instalador un ayudante y un supervisor que en este caso es el autor de este proyecto. A pesar de que el personal que colaboro en el tendido de la red de tuberías ya tiene experiencia en estos trabajos, durante la supervisión se cuidó de aspectos importantes que se describen a continuación.

##### **4.4.1. TERMO FUSIÓN**

Los materiales y equipos necesarios para la termo fusión son:

- Soporte para tuberías
- Termo fusora con boquillas apropiadas al diámetro a unir.
- Cortador de tubo
- Lima redonda
- Alcohol
- Papel Absorbente
- EPP<sup>16</sup>

El tipo de accesorios y uniones que se utilizan requieren una termo fusión a encaje, o también conocida como “socket”. Este método involucra el calentamiento simultáneo de la superficie externa de la tubería (periferia del tubo) y la superficie interna del accesorio, hasta que se alcance la temperatura de fusión del material. Cuando se obtiene la fusión del material, se procede a introducir el tubo en el accesorio para realizar la unión.

El procedimiento con el cual se realiza la termo fusión es el siguiente:

- Cortar aproximadamente 2mm de cada extremo de la tubería para garantizar que todas las superficies a unir sean superficies limpias.
- Medir los tubos tomando en cuenta las distancias de inserción de cada elemento.



- Cortar con el cortador de tubos o una cierra en las zonas rayadas de manera que la incidencia del corte sea perpendicular a la superficie, de esta manera tener caras paralelas.

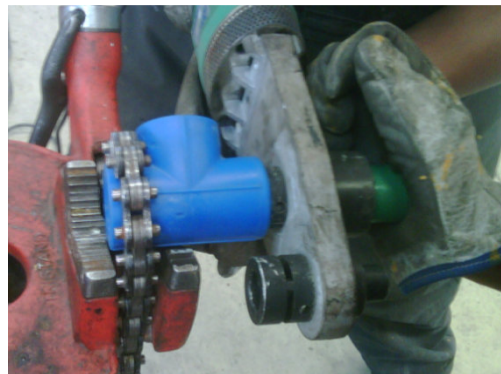
---

<sup>16</sup> EPP: Equipo de protección personal.



**Fig. 4.8 Elementos para Corte y Termo Fusión.**

- Limar suavemente las uniones para retirar imperfecciones del corte o restos de material.
- Calentar la termo fusora hasta la temperatura requerida  $260^{\circ}\text{C}$  ( $500^{\circ}\text{F}$ ), una vez alcanzada la temperatura se espera 5 minutos adicionales para garantizar que las boquillas estén a la misma temperatura que la plancha.
- Limpiar las superficies a fundir con un paño humedecido con alcohol, de esta manera se eliminan restos de sólidos ajenos, grasas, etc.
- Calentar al mismo tiempo tanto la tubería como el accesorio, momento en el cual empieza el conteo del tiempo de calentamiento.

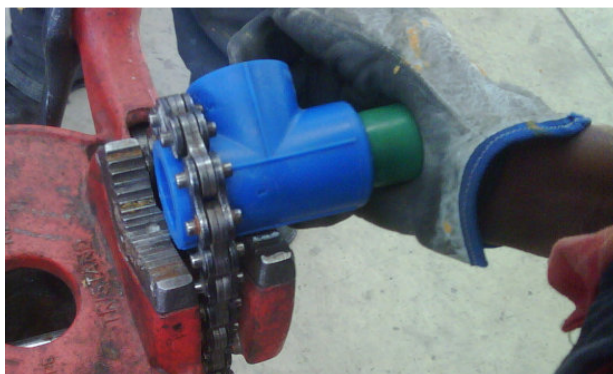


- Unir el accesorio y la tubería inmediatamente después de cumplido el tiempo de calentamiento ejerciendo una presión manual moderada, se tiene un tiempo de trabajo disponible para realizar correcciones.
- Después de esto no se puede mover las tuberías. Aquí empieza el conteo del tiempo de enfriamiento.

**Tabla 4.2 Tiempos de Trabajo en Termo Fusión, Polipropileno.**

DIAMETRO mm	TIEMPO DE CALENTAMIENTO (seg.)	TIEMPO DE TRABAJO POR TERMOFUSIÓN (seg.)	TIEMPO DE ENFRIAMIENTO (min.)
20	5	4	2
25	7	4	3
32	8	6	4
40	12	6	4
50	18	6	4
63	25	8	6
75	30	10	8
90	30	10	8

Fuente: Manual de instalación productos TERMOMAX, Plastigama.



- Pasado este tiempo dejar de ejercer la presión, a partir de este punto la unión estará totalmente estable en 10 minutos más.
- Limpiar las rebabas de las juntas donde sea posible hacerlo, con una lima circular



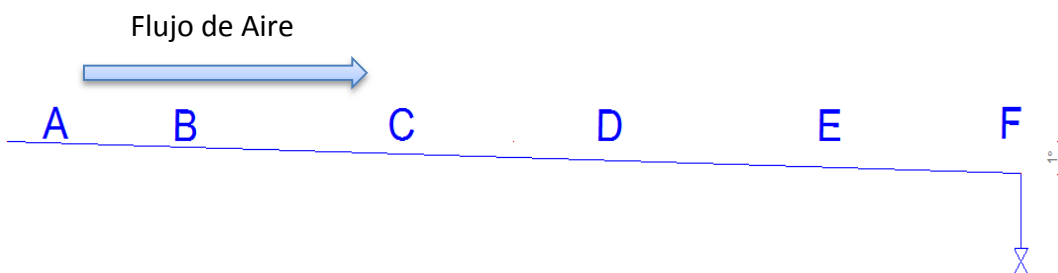


#### 4.4.2. INCLINACIÓN DE LAS LÍNEAS.

En las líneas principales es conveniente montar la red con una inclinación de tal manera que los condensados puedan fluir hasta las trampas. Por este motivo los tramos de las líneas principales de mayor distancia se montaron de la siguiente manera:

##### 4.4.2.1. Tramo A-F

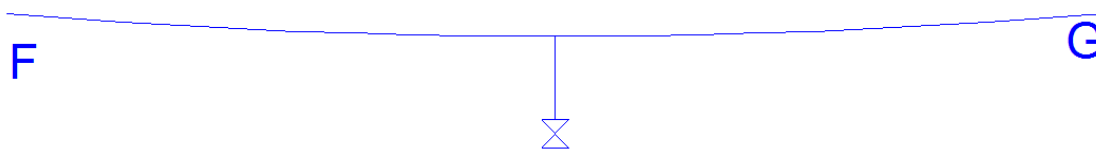
En sentido al flujo del aire tiene una inclinación de  $1^\circ$  con respecto a la horizontal, esto se consigue variando las alturas de los soportes a lo largo de la línea. De esta manera se logra que los condensados se acumulen en la parte final de la tubería (punto F), donde se instala una trampa de condensados.



**Fig. 4.9 Inclinación Tramo A-F**

##### 4.4.2.2. Tramo F-G

En este tramo la trampa de condensados está ubicado en la mitad, por lo que la tubería será montada con una cierta forma de arco, de tal manera los condensados se concentrarán en el centro de la línea.



**Fig. 4.10 Inclinación Tramo F-G**

#### 4.4.3. CONEXIÓN DE LÍNEAS SECUNDARIAS

Las líneas secundarias tienen ciertas particularidades que se toman en cuenta en la instalación. Las derivaciones son en forma de “cuello de cisne”, concepto indicado en el capítulo 2.



**Fig. 4.11 Derivación Instalada.**

Se instala transiciones de Polipropileno a acero después de una válvula de paso, para poder instalar después los manómetros, drenajes, accesorios y acoples neumáticos necesarios en cada punto.



**Fig. 4.12 Puntos Finales Polipropileno**

#### 4.4.4. SOPORTES

Para la separación de los soportes de la red de aire comprimido se utilizaron los conceptos de la norma INEN 2 260:2010 que se especifican en la siguiente tabla.

**Tabla 4.3 Distancias de Anclaje.**

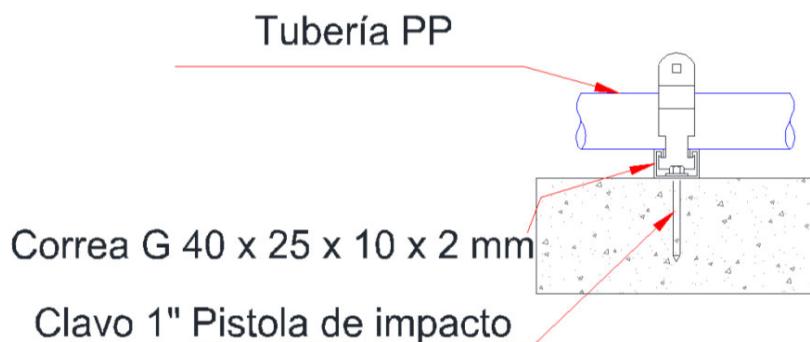
TUBERIA	DIAMETRO NOMINAL	SEPARACION MAXIMA	
		HORIZONTAL	VERTICAL
	MILIMETROS	METROS	
RIGIDA	12.7	1.5	2.0
	19.0	2.0	3.0
	25.0	2.0	3.0
	32.0 y >	2.5	3.0
FLEXIBLE	12.7	1.0	1.0
	19.0	1.0	1.0
	25.0 y >	1.5	1.5

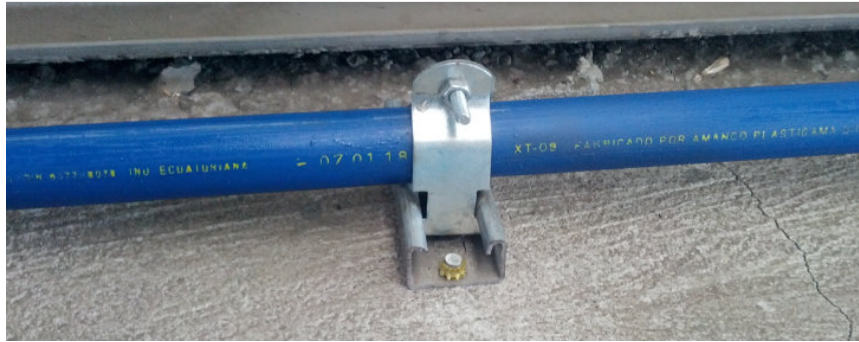
Fuente: NTE INEN 2 260:2012 pg. 24.

Además en la instalación se utilizó dos tipos de anclajes o soportes:

- **Canal y abrazadera metálicos**

Son los soportes principales, donde se va a apoyar el peso de la tubería y accesorios. Se los diseño con canal c09 anclado y ajustado a las tuberías mediante abrazaderas metálicas.





**Fig. 4.13 Soporte por Abrazaderas**

- **Amarras plásticas**

Son utilizadas principalmente para mantener la alineación de las tuberías, y en lugares donde el anclaje del canal no es viable.



**Fig. 4.14 Soporte por Amarras**

#### **4.4.5. ELEMENTOS EXTRAS**

Los elementos extras son considerados aquellos fuera de tuberías, accesorios como codos, válvulas, tees, uniones y todos aquellos elementos que no son parte básica de la red. En este caso el único elemento de estas condiciones es el regulador de presión con su respectivo manómetro, requeridos en los puntos de consumo P7, P8 Y P9, especificado en el listado de materiales del diseño.

#### 4.4.6. ACCESORIOS EN LOS PUNTOS DE CONSUMO.

A partir de la transición de PP a acero, se requiere montar una serie de elementos y accesorios que serán parte del punto de consumo, con su respectiva conexión rápida, manómetro, reguladores, drenajes, etc. Antes de montar este conjunto en la red, se hace un “barrido”, que consiste en cargar al compresor de aire, y descargarlo por cada punto de consumo. De esta manera se elimina cualquier residuo generado en la instalación, y se puede garantizar limpieza en el interior de las líneas. Aquí se presenta una imagen de un elemento montado.



**Fig. 4.15 Accesorios de Puntos de Consumo.**

El diagrama de montaje para estos elementos se detalla en el **ANEXOF** así como el plano isométrico y unifilar definitivos del sistema.

#### 4.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez realizado el barrido de la red y montado los elementos necesarios para cada punto de consumo se realiza el arranque del sistema, para posteriormente realizar pruebas de funcionamiento y estanqueidad. Para

este procedimiento es importante revisar algunos puntos que se detallan a continuación.

#### **4.5.1. ARRANQUE DEL SISTEMA**

Para arrancar el sistema se seguirá el siguiente procedimiento:

- Reajustar, cuidadosamente los ensambles de cada punto de consumo.
- Abrir todas las válvulas de paso en los puntos de consumo.
- Cerrar todas las de drenaje
- Abrir la válvula de conexión del compresor a la red.
- Ajustar la presión de trabajo del compresor a la presión de diseño del sistema 6 bar. (90 psi).
- Tomar las medidas de seguridad adecuadas.
- Energizar el compresor.

#### **4.5.2. PRUEBAS DE FUGAS**

Una vez que el compresor ha presurizado su tanque de almacenamiento, más toda la red, se procede a realizar la detección de posibles fugas y problemas en el sistema. Para este propósito se sigue el siguiente procedimiento.

- Verificar que el motor del compresor deje de funcionar a la presión configurada, (6bar).
- Comprobar que los manómetros marquen la presión de 6 bar en cada punto de consumo.
- Realizar un recorrido por la red desde el compresor hasta el último punto de consumo, para detectar anomalías o sonidos de fugas en los elementos.

- Aplicar una solución jabonosa en todas las uniones del sistema, para verificar su hermeticidad.
- Marcar los puntos donde se encuentren fugas.
- Suspender la energía del compresor.
- Descargar la presión de las líneas abriendo las válvulas de drenaje.
- Reparar las fugas.
- Arrancar el sistema, y repetir este procedimiento hasta que no exista presencia visible o auditiva de fugas.

#### 4.5.3. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD

Según la norma ASME B 31.8 todos los sistemas de tuberías para transporte de gas deberán ser probados después de su construcción. De esta manera una vez que el sistema no presenta fugas visibles o audibles, entonces se aplica la prueba de estanqueidad. La norma ASME B 31.8, en el párrafo 841.35 brinda algunos parámetros fundamentales para realizar pruebas en líneas que operan a menos de 100 psi, que es el caso de este proyecto.

**Tabla 4.4 Parámetros para Pruebas de Estanqueidad.**

Presión de Diseño	MOP <sup>17</sup>	Prueba de Presión	Tiempo de Prueba
BAR (psi)	BAR (psi)	MOP*1,3	Horas
6 ( 87)	6,9 (100)	8,96 (130)	24

Fuente: Compilación de conceptos norma ASME B31.8

#### **El procedimiento que se sigue es el siguiente:**

- Dar arranque al sistema configurando la presión de operación a 130 psi.

<sup>17</sup> MOP: Máxima presión de operación

- Una vez que el motor del compresor pare, comprobar que el sistema se encuentre a una presión de 130 psi.
- Cerrar la válvula de conexión del compresor a la red.
- Llenar el formato de registro para cada punto de consumo, tomando la hora de toma del dato, la presión de inicio.
- Dejar al sistema en reposo durante 24 horas.
- Luego de 24 horas de tomadas los datos iniciales, se toma los datos secundarios en el formato de registro.
- Si la presión promedio de todos los puntos es inferior al 5% (factor permisible de fugas por diseño) de la presión inicial de prueba. El sistema requiere reparación.
- Reparar si fuese necesario, y realizar esta prueba nuevamente.
- Si el sistema no requiere reparación, está listo para entrar en operación.

En la prueba de estanqueidad realizada en el sistema, conjuntamente con gente de INCOAYAM se obtuvo una caída de presión menor al 5%. Por este motivo se aprueba por parte de Incoayam, el instalador responsable y el diseñador, la conformidad de funcionamiento del sistema. Los formatos de registro de las pruebas de estanqueidad se presentan en el **ANEXO G**.

#### **4.6. MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO**

El manual de usuario y mantenimiento ha sido desarrollado a la medida de las necesidades de este proyecto, tomando como referencia las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, así como la descripción de los procedimientos adecuados para el buen funcionamiento del sistema de aire comprimido centralizado para la planta industrial de INCOAYAM. Este manual de usuario y mantenimiento se presenta en el **ANEXO H**.



## CAPITULO 5

### 5. REACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

Este capítulo trata sobre el reacondicionamiento de una cabina de sandblasting, con el objetivo de convertirla en una cabina semi abierta para limpieza de tuberías principalmente de acero de diámetros desde 1/2" hasta 4". Se realizan aberturas en la estructura de la máquina para que la tubería pueda atravesarla, además se diseñaran soportes para que el peso de la tubería este sobre estos y no sobre la estructura de la máquina.

#### 5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CABINA DE SANDBLASTING

La cabina de sandblasting que se dispone para realizar este trabajo tiene un volumen de trabajo 0,3 m<sup>3</sup>, normalmente utilizada para limpieza de piezas pequeñas. Las características de la maquina así como su manual técnico se describen en el **ANEXO I**. El principio de funcionamiento de la maquina es por succión, tiene una pistola que mediante el efecto Venturi genera un vacío que succiona el abrasivo para luego proyectarlo a gran velocidad hacia el material a tratar.



**Fig. 5.1 Pistola de Succión**

La estructura de la cabina está hecha de acero, menos una pared lateral, que es la tapa de la maquina la cual está elaborada de plástico. Las condiciones de trabajo de la maquina son:

**Tabla 5.1 Condiciones de Operación Sandblasting.**

CARACTERISITICA	Unidad	Min	Max
Presión de Trabajo	Psi	80	125
Consumo especifico de aire	l/s	10	12
Alimentación de energía (iluminación)	Voltios	110	125
Tamaño de granalla permitida	Mesh	120	60

Fuente: Autor.

## 5.2. ABERTURA DE LATERALES.

Para poder utilizar esta cabina en la limpieza de tuberías de acero de 6 mts de longitud, se necesita abrir orificios en los costados de las tapas. Ya que se requiere trabajar con tuberías de hasta 4 pulgadas, el agujero de la maquina será 1,5 veces mayor al requerido, para permitir un rango considerable de movimientos.

$$Db = 1,5 * Da$$

Dónde:

Db: Diámetro de abertura en la estructura, (in).

Da: Diámetro máximo de la tubería de trabajo, (in).

$$Db = 1,5 * 4 = 6".$$

Se realizan las aberturas sobre las tapas de la maquina con una sierra eléctrica.



**Fig. 5.2 Abertura de Paredes Laterales.**

En cada abertura de la maquina se instalan 2 membranas de caucho tipo diafragma colocadas con un desfase de 45° entre sí, que impiden la salida de las partículas que se desprenden del proceso, al medio ambiente.

Diámetro: 7"

Material: Lámina de caucho (neopreno).

Espesor: 3mm.

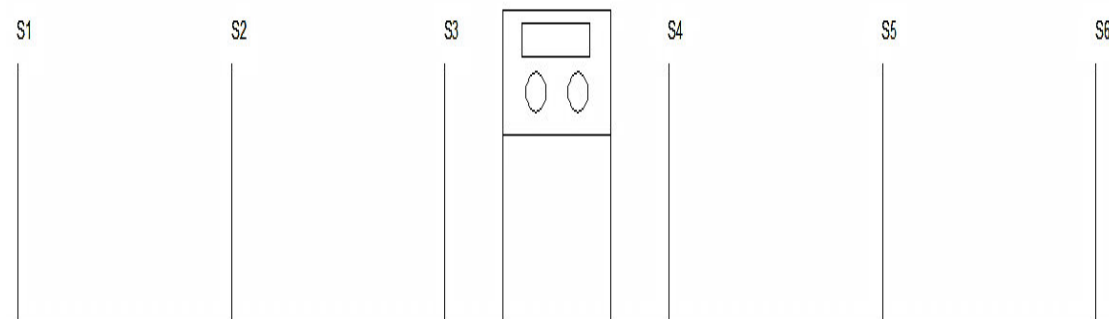


**Fig. 5.3 Membranas de Paredes Laterales.**

### **5.3. SOPORTES DE TUBERÍA**

Como se mencionó anteriormente se requiere de un juego de soportes para que las tuberías reposen y se trasladen libremente por la zona de la cabina de sandblasting. El número de soportes que requiere el sistema es de

6, colocados 3 a la entrada de la cabina, y 3 más a la salida de la misma como se indica en la siguiente gráfica.



**Fig. 5.4 Máquina y Soportes.**

Estos soportes deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Permitir el movimiento horizontal libre de la tubería, para poderla deslizar dentro de la máquina.
- Permitir un movimiento rotacional de la tubería en su propio eje.
- Cargar el peso de las tuberías de acero <sup>18</sup>SCH 40 del siguiente rango ½" hasta 4".
- Brindar estabilidad al tránsito de la tubería dentro de la cabina.

Para el diseño de los soportes, se toma para el estudio una tubería de acero SCH 40 diámetro nominal 4" de 6 mts de longitud, para calcular el peso máximo que deberán cargar los soportes en los diferentes estados de tránsito de la tubería en el proceso.

Las características estándar del rango de tuberías para el cual se diseñaran los soportes es la que se presenta a continuación en una tabla que resume los principales factores que son relevantes de conocer y dominar y que son de utilidad en nuestros cálculos.

---

<sup>18</sup> SCH: siglas en ingles de Schedule, es la cedula, este es el nombre que se le da a un espesor de tubo.

**Tabla 5.2 Características Tubería de Acero al Carbono ASTM A 53 / A 106**

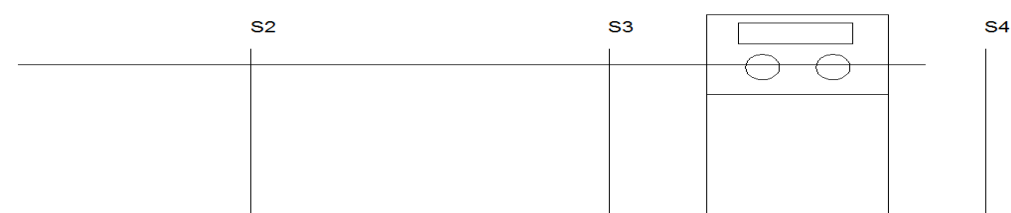
DIAM. NOMINAL		DIAM. EXTERIOR REAL		SCH	ESPESOR DE PARED		PESO DEL TUBO		Área Ext
NPS	DN	(in)	(mm)		(in)	(mm)	lb/pie	Kg/m	
1/2	15	0,840	21,30	40	0,109	2,77	0,85	1,27	0,067
				80	0,147	3,73	1,09	1,62	
3/4	20	1,050	26,70	40	0,113	2,87	1,13	1,69	0,084
				80	0,154	3,91	1,47	2,20	
1	25	1,315	33,40	40	0,133	3,38	1,68	2,50	0,105
				80	0,179	4,55	2,17	3,24	
1 1/4	32	1,660	42,20	40	0,140	3,56	2,27	3,39	0,132
				80	0,191	4,85	3,00	4,47	
1 1/2	40	1,900	48,30	40	0,145	3,68	2,72	4,05	0,152
				80	0,200	5,08	3,63	5,41	
2	50	2,375	60,30	40	0,154	3,91	3,65	5,44	0,190
				80	0,218	5,54	5,02	7,48	
2 1/2	65	2,875	73,03	40	0,203	5,16	5,79	8,63	0,229
3	80	3,500	88,90	40	0,216	5,49	7,58	11,29	0,279
4	100	4,500	114,30	40	0,237	6,02	10,79	16,07	0,359

Fuente: <http://vemacero.com/Tablas/A53MP.pdf>

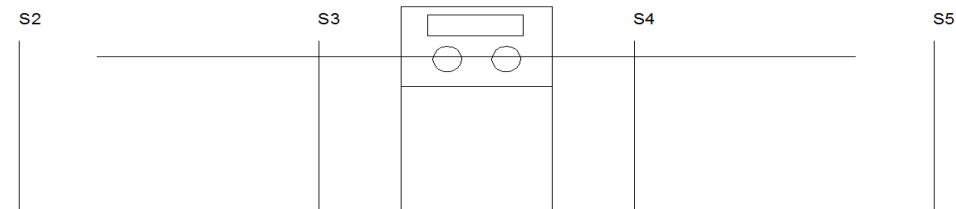
Para cumplir con los requerimientos se analiza los posibles estados de tránsito de una tubería dentro del proceso de sandblasting:

- Cargado en 2 soportes:

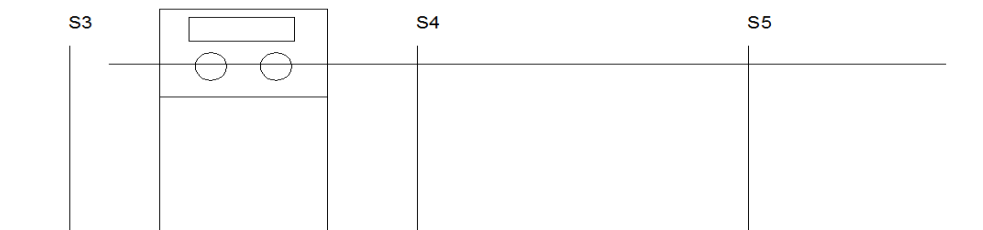
Cuando el tubo está saliendo por el otro lado de la maquina salió del soporte 1, todavía no alcanza el soporte 4.



Cuando la mitad del tubo está dentro de la cabina el tubo solo se apoya sobre los soportes 3 y 4.



Cuando el tubo está terminando de ingresar a la cabina y abandona el soporte 3, todavía no alcanza el soporte 6.



- Cargado en 3 soportes.

En todos los otros casos que no han sido expuestos anteriormente la tubería está apoyada en 3 soportes.

### 5.3.1. CÁLCULO DE PESO MÁXIMO PARA LOS SOPORTES.

Como se explicó anteriormente, el peso máximo que deberá cargar cada soporte, será el peso de un tubo de acero 4" SCH 40, Long. 6m. Dividido para el número de sopores mínimo, que se da en el primer estado de transito donde el tubo reposa solo sobre 2 soportes.

Entonces la fórmula es:

$$Ws = Pt * \frac{f}{Ns} \text{ Ecuación (5.1) Peso Admisible por Soporte.}$$

Ws: Carga de soportes (kg)

Pt: Peso del tubo (kg)

f: factor de seguridad del diseño

Ns: número de soportes

Entonces en el estado de transito donde la tubería de 4" se sustenta en 2 apoyos tenemos las siguientes características:

$$Pt = \frac{16,07kg}{m} * 6m = 96,42kg$$

f: 1,4

Ns: 2 (Estado de transito #1).

$$Ws = 96,42kg * \frac{1,4}{2} = \mathbf{67,49 kg/soporte.}$$

Se ha seleccionado la utilización de bolas transportadoras para los puntos de contacto ya que son elementos que ofrecen el movimiento de la tubería tanto horizontalmente como rotacionalmente en su propio eje.

Cada soporte tendrá dos bolas transportadoras de esta forma en cada soporte hay dos puntos de apoyo. Entonces el peso mínimo que deberá soportar cada bola transportadora del sistema será la carga de los soportes dividido para 2.

$$Wb = \frac{Ws}{2}$$

Donde

Wb: Carga bolas transportadoras kg

Ws: Carga de soportes (kg)

$$Wb = \frac{67,49kg}{2} = 33,74kg * \frac{2,2lb}{kg} = \mathbf{74,22lb}$$

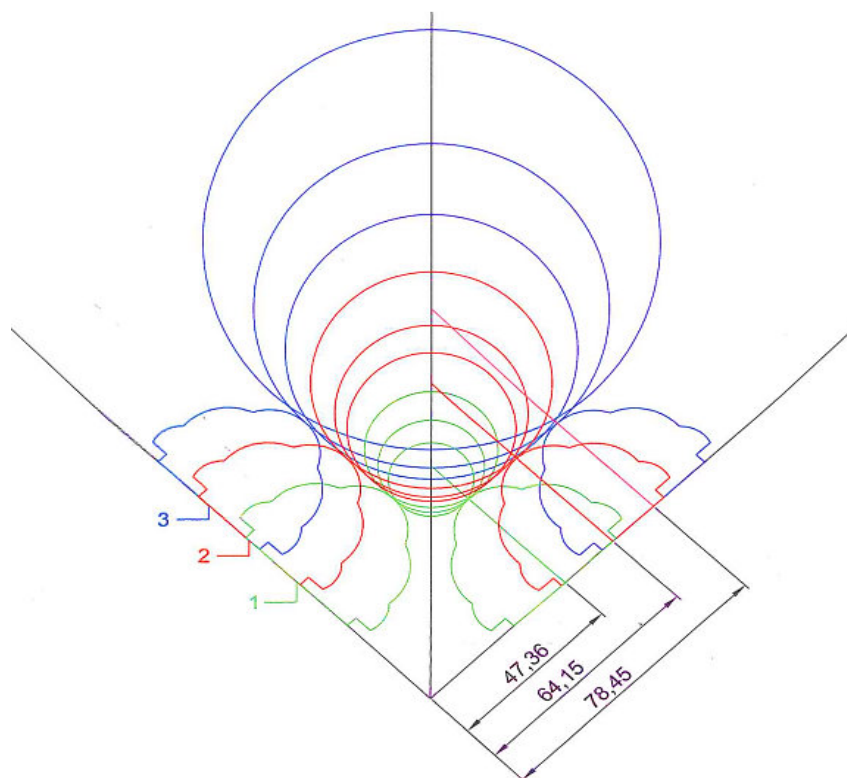
Entonces las bolas que se adquirieron para la instalación en los soportes tienen las siguientes características:

**Tabla 5.3 Especificaciones técnicas de bolas transportadoras.**

Propiedad	Unidad	Valor
Diámetro de bola	Pulgadas	1
Dimensión A	Pulgadas	1-3/8
Dimensión B	Pulgadas	1-3/4
Peso máximo de trabajo	Libras	75
Material de bola	--	Acero al carbono
Material de carcasa	--	Zinc Steel

Fuente: [www.grainger.com](http://www.grainger.com)

Para poder utilizar el mismo elemento para un rango de diámetros de tuberías que contempla entre ½" hasta 4", se diseñaron soportes con 3 posiciones de ubicación de las bolas transportadoras, para efecto de cubrir el soporte de la gama de diámetros establecida.



**Fig. 5.5 Posiciones de Bolas Transportadoras.**



**Tabla 5.4 Diámetros vs Posición de Bolas Transportadoras**

Posición 1	Posición 2	Posición 3
1/2"	1-1/4"	2-1/2"
3/4"	1-1/2"	3"
1"	2"	4"

Fuente: Autor

En el **ANEXO J** se presentan a detalle los planos del diseño de los soportes tipo trípode, así como de las membranas y tapas de la máquina de sandblasting. A continuación una imagen de los soportes construidos en base a estos diseños.



**Fig. 5.6** Soporte construido y montado.

#### **5.4. SELECCIÓN DE ABRASIVO**

El fabricante de la cabina de sandblasting proporciona una lista de abrasivos con una matriz para la selección del mismo dependiendo de las características de la cabina y el trabajo a realizar, todos estos abrasivos son reutilizables, para circuitos cerrados como es el caso de este sistema.

Para ver la matriz de selección original, remitirse al **ANEXO I**, a continuación se presenta una tabla del resumen traducido de la matriz de selección de abrasivo recomendado por el fabricante.

**Tabla 5.5 Abrasivos Recomendados.**

ABRASIVO	TIPO DE TRABAJO			COSTO \$/Lb
	Remover Carbón, pintura, oxido.	Remover Pintura	Preparación para pintura	
Sílice (Arena)	Aceptable	----	----	1,34
Black Beauty Slag	Aceptable	----	----	1,44
Glass Bead	Aceptable	Aceptable	Aceptable	2,34
Ground Glass	Bueno	Aceptable	Aceptable	2,74
Alox Glass	Aceptable	Aceptable	Aceptable	2,74
Walnut Shells	Aceptable	Muy Bueno	----	3,40
Aluminum Oxide	Bueno	Aceptable	Bueno	2,36
Plastic Media	----	Bueno	Muy Bueno	7,28

Fuente: Recomendaciones de funcionamiento del fabricante, ANEXO I.

Ya que el tipo de trabajo que se va a ejecutar en este sistema se asemeja a remover carbón, pintura y oxido de esta matriz se pre-seleccionan los abrasivos que tienen las mejores características, de los cuales se selecciona el abrasivo ideal para nuestro sistema mediante una matriz de decisión que se evalúa con parámetros más específicos direccionados a nuestros objetivos y condiciones de trabajo.

- Abrasivo 1  
Ground Glass (Micro esferas de vidrio)
- Abrasivo 2  
Aluminum Oxide (Oxido de aluminio)

### Matriz de decisión, parámetros:

- Costo del abrasivo en el lugar a utilizar:

El costo por libra de producto, se calificara con un rango de 0-10. Donde 10 representa el abrasivo más económico de la tabla anterior 1,34 \$/lb. El peso en la evaluación de este parámetro es de 25%.

- Mesh adecuado:

El mesh ideal para la pistola de la cabina es de 80, pero los fabricantes de los abrasivos dan un rango de mesh de sus productos. Este factor está calificado con un rango de 0- 10 donde 0= (si el mesh del abrasivo es mayor a 120 o menor a 60) y 10= (Si el mesh del abrasivo es 80). Peso de este parámetro en la evaluación es de 15%.

- Facilidad de abastecimiento del abrasivo

La facilidad para conseguir este abrasivo en el mercado. 0=nula, 10=excelente. El peso de este factor es de 15%.

- Acabado superficial

Es un factor a tomar en cuenta ya que para la terminación superficial que el proceso requiere, (Grado SSPC SP10), se necesita de un abrasivo agresivo, esta característica la da la dureza y la geometría de los granos. Mientras más aristas y dureza mejor agresividad. Tiene una calificación de 0 – 10. 0=débil, 10=alta eficiencia. El peso de este factor es de 15%.

- Reutilización

Es la cantidad de veces que un abrasivo puede reutilizarse y depende directamente de la dureza del mismo. 0= (0 veces de reutilización) 10= (>500 veces de reutilización). El peso de este factor es 15%.

- Protección personal, seguridad industrial.

Este parámetro de evaluación está relacionado con el desprendimiento de polvo de sílice en el proceso, el cual es muy peligroso para la salud

humana, y además encarece el costo del proceso al requerir equipo especial de EPP<sup>19</sup>. Se califica de 0= peligroso 10= inofensivo. El peso de este factor en la matriz es de 15%.

**Tabla 5.6 Matriz de decisión selección de abrasivo.**

	PESO	Ground Glass		Aluminum Oxide	
		CALIF (0-10)	TOTAL	CALIF (0-10)	TOTAL
COSTO	25%	4,90	1,23	5,60	1,40
MESH	15%	5,00	0,75	9,00	1,35
ABASTECIMIENTO	15%	7,00	1,05	7,00	1,05
ACABADO SUPERFICIAL	15%	6,00	0,90	8,00	1,20
REUTILIZACION	15%	8,00	1,20	8,00	1,20
PROTECCION	15%	9,50	1,43	9,00	1,35
<b>TOTALES</b>	<b>100%</b>		<b>6,55</b>		<b>7,55</b>

Fuente: Autor

El abrasivo seleccionado para el sistema es el óxido de aluminio, comercializado por Summit con PN: SUM-913135, es el material adecuado para nuestro tipo de trabajo y las condiciones de la cabina. Tomar en cuenta que este abrasivo es el ideal, pero se tiene otras alternativas más económicas pero menos eficientes, menos seguras como la arena de río tamizada MESH 80, que puede ser el reemplazo cuando no exista en el mercado el material seleccionado.

## 5.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se ejecutaron pruebas de funcionamiento para calcular los tiempos de operación en la limpieza de tuberías con la máquina de sandblasting, para poder determinar el nuevo tiempo de limpieza por metro cuadrado.

<sup>19</sup> EPP: Equipo de Protección Personal.

Se limpiaron 10 TUBERIAS AcN 1" SC.SCH80.A53-B, los resultados son los siguientes:

Tiempo de ejecución del trabajo: 3,40 horas, 0,42 días.

Mano de Obra: 1 operador.

**Tabla 5.7 Materiales y tiempo prueba empleados en el nuevo método.**

<b>CANT.</b>	<b>MATERIALES Y MANO DE OBRA</b>	<b>UNID.</b>	<b>P. UNITARIO US \$</b>	<b>P. TOTAL US \$</b>
3	LIMPIEZA Wype	U	0,1490	0,4470
0,9	Abrasivo Oxido de Aluminio	Lb	2,3600	2,1240
1	MASCARILLA P/POLVO TOXICO 3M	U	0,9317	0,9317
0,42	MANO DE OBRA	O-D <sup>20</sup>	25,0000	10,5000
0,42	COSTOS INDIRECTOS	O-D	136,0000	57,1200
			<b>TOTAL</b>	<b>71,12</b>

Fuente: Autor.

Ahora se calcula el costo unitario de limpieza por metro cuadrado. Metros cuadrados totales preparados superficialmente:

$$\text{Area Total limpiada} = 10 \text{ Tubos} * \frac{6\text{m}}{\text{tubo}} * 0,105 \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = 6,3\text{m}^2. \text{ }^{21}$$

$$\text{Costo unitario 2} = \frac{71,12\$}{6,3\text{m}^2} = \mathbf{11,28 \frac{\$}{\text{m}^2}}$$

Por ultimo de define el tiempo unitario de limpieza por metro cuadrado:

$$\text{Tiempo unitario 2} = \frac{3,40\text{horas}}{6,3\text{m}^2} = \mathbf{0,53 \frac{\text{horas}}{\text{m}^2}}$$

<sup>20</sup> O-D: Obrero Día.

<sup>21</sup> Valor obtenido de la Tabla 5.2.

## **CAPÍTULO 6**

### **6. ANÁLISIS ECONOMICO-FINANCIERO**

#### **6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO**

En este análisis se estudia los costos de inversión del sistema de aire comprimido y del sistema de sandblasting. Además se analizan los beneficios de la implementación del proyecto, enfocándonos principalmente en aspectos objetivos como es la economía de la empresa INCOAYAM.

##### **6.1.1. COSTOS DE INVERSIÓN**

La inversión que se realizó para implementar este proyecto fue realizada totalmente por parte de la empresa INCOAYAM.

Existieron varios tipos de costos que estuvieron presentes en la inversión de este proyecto, se van a analizar a continuación los siguientes costos: DISEÑO, MATERIALES, MANO DE OBRA E INDIRECTOS.

###### **6.1.1.1. Costos de Diseño**

En el análisis de costos que involucraron el diseño de este proyecto se han tomado en cuenta los recursos tanto físicos como humanos que fueron necesarios para el diseño de la red de aire comprimido, y el re diseño del sistema de sanblasting.

**Tabla 6.1 Costos de Diseño.**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$/u)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Profesionales	horas	10,00	20,00	200,00
Egresado	horas	100,00	5,00	500,00
Libro	unidad	1,00	48,00	48,00
Software	unidad	1,00	33,00	33,00
<b>TOTAL</b>				<b>781,00</b>

Fuente: Autor

**6.1.1.2. Costos de Materiales.**

La lista de materiales presentada en el capítulo 4 fue producto del pre diseño de la red de aire comprimido. La lista de materiales que se presenta a continuación es una compilación de los materiales requeridos para:

- Red de aire comprimido
- Techo y cerca del compresor
- Soportes y membranas de máquina de sandblasting.
- Y todos los elementos utilizados para la implementación de este proyecto.

**Tabla 6.2 Lista de materiales definitiva.**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANT</b>	<b>COST UNIT. (\$/U)</b>	<b>TOT. US \$</b>
TUBERIA AcN CUAD. 50 50 x 2 mm x 6 m	METRO	4,56	3,63	16,53
TUBERIA AcN REDONDO. 1- 3/4" x 2 mm x 6m	UNIDAD	3,00	14,30	42,90
TUBERIA AcN REDONDO. 1- 1/2" x 2 mm x 6m (38.1 mm)	UNIDAD	1,00	12,90	12,90

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	COST UNIT. (\$/U)	TOT. US \$
TUERCA. 1/2". UNC GALVAN.	UNIDAD	4,00	0,10	0,40
BARRA ROSCADA FE 1/2" NC	METRO	0,16	3,05	0,49
PLATINA ACERO 20 mm x 3mm	UNIDAD	0,12	2,71	0,33
ANGULO ACERO 30 mm x 3mm	UNIDAD	7,20	9,67	69,64
PLATINA ACERO 40 mm x 3mm	UNIDAD	1,00	8,48	8,48
PLATINA ACERO 50 mm x 3mm	METRO	0,10	1,00	0,10
VARILLA ACERO LISA 1/2"	METRO	0,33	0,80	0,27
ANGULO ACERO 50 mm x 4mm	METRO	0,16	3,89	0,62
ANGULO ACERO 50 mm x 3mm	METRO	1,70	2,61	4,44
ABRAZADERA AJUST. AA-1/2"	UNIDAD	23,00	0,23	5,29
CANAL C09 CAL=14	UNIDAD	4,00	9,39	37,56
ABRAZADERA AJUSTABLE 1"	UNIDAD	18,00	0,31	5,58
CLAVO ACERO 1" DE IMPACT.	UNIDAD	51,00	0,03	1,70
CODO HG 90° CACHIMBA 1/2" MNPT x 1/2" FNPT	UNIDAD	10,00	1,25	12,50
TEE HG 1/2" HNPT 150	UNIDAD	21,00	1,21	25,44
BUSHING HG 1/2" x 1/4" - 150	UNIDAD	30,00	0,87	25,95
BUSHING HG 3/4" x 1/2" - 150	UNIDAD	1,00	0,95	0,95
TAPON HG MACHO 1/4" 150	UNIDAD	10,00	0,62	6,23
NEPLO HG 1/4" MNPT x 10cm. SCH40	UNIDAD	10,00	1,85	18,50
NEPLO HG 1/2" MNPT x 5cm. SCH40	UNIDAD	8,00	0,67	5,38
NEPLO HG 1/2" MNPT x 8cm. SCH40	UNIDAD	11,00	0,50	5,53
TIRAFONDO 1/4" x 3"	UNIDAD	2,00	0,08	0,15
TIRAFONDO 1/4" x 1"	UNIDAD	17,00	0,04	0,72
TIRAFONDO 1/4" x 2"	UNIDAD	41,00	0,06	2,53
TORNILLO. Colepato #8 X 1"	UNIDAD	16,00	0,02	0,34



DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	COST UNIT. (\$/U)	TOT. US \$
TORNILLO GALV 1/4 x 1"	UNIDAD	34,00	0,03	0,91
ARANDELA PERNO 1/4"	UNIDAD	41,00	0,03	1,23
TUBERIA PP, PN 20, 32MM	METRO	76,81	2,72	208,75
TUBERIA PP, PN 20, 20 MM	METRO	28,40	0,99	28,01
CODO 90, PP, FH X FH, 63 MM	UNIDAD	22,00	5,12	112,72
RODAMIENTO TRANSPORTADOR DE BOLA DIAM 1", 1 3/4", 75 Lb máx.	UNIDAD	12,00	5,46	65,60
CODO 90, PP, FH X FH, 32 MM	UNIDAD	2,00	0,92	1,84
CODO 90, PP, FH X FH, 20 MM	UNIDAD	22,00	0,35	7,69
TEE PP, FH x FH x FH, 32 mm	UNIDAD	14,00	1,51	21,19
REDUCCION PP, FM 32 x FH20	UNIDAD	13,00	0,32	4,12
UNION PP, FH X FH, 32 MM	UNIDAD	7,00	0,68	4,76
UNION PP, FH X FH, 20 MM	UNIDAD	1,00	0,48	0,48
TRANSICION PP-Ac, FH 20 x R 1/2 HNPT	UNIDAD	11,00	1,24	13,66
TRANSICION PP-Ac, FH 20 x R 1/2 MNPT	UNIDAD	1,00	1,48	1,48
VALVULA BOLA, PP, FH x FH, 20 MM - DOBLE - PN 16	UNIDAD	13,00	6,76	87,88
AMARRA PLASTICA 14" x 4 mm	UNIDAD	50,00	0,07	3,57
PL. ALUTECHO ANCHO UTIL 1030mm E=0.3mm Long. (M)	METRO	3,00	6,32	18,96
RACORD BR 3/4"G x 1/2"MNPT	UNIDAD	1,00	5,22	5,22
ACOPLE RAPIDO NEUMATICO 1/4" -BR-MACHO	UNIDAD	6,00	3,34	20,04
NEPLO BR - 1/4" x 1/4"	UNIDAD	3,00	1,34	4,01
SOLDADURA Electr.E6010. 1/8"	KG.	4,30	2,29	9,84
TEFLON PTFE, R. 12 mm x 12m	UNIDAD	20,00	0,35	7,00

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANT</b>	<b>COST UNIT. (\$/U)</b>	<b>TOT. US \$</b>
CANALETA LISA 40x25 BLANCO	UNIDAD	1,00	6,14	6,14
EMPAQUE PARA RACOR 3/4"	UNIDAD	1,00	0,51	0,51
ACCESORIOS 40X25 BLANCO ANGULO PLANO	UNIDAD	1,00	1,03	1,03
ACCESORIOS 40x25 BLANCO DERIVACION EN T	UNIDAD	1,00	1,03	1,03
TACO #10	UNIDAD	68,00	0,04	2,68
THINNER ALQUIDICO	GALON	0,75	6,20	4,65
FULMINANTE MARRON NIV. 2	UNIDAD	80,00	0,06	4,54
VALVULA DE BOLA 1/4"H.NPT(gas.c/am.largo)	UNIDAD	11,00	3,29	36,20
MANOMETRO PRES.0-300 psi.	UNIDAD	10,00	6,40	64,02
MANOMETRO DE PRESION 0- 160 PSI 2" DIAL	UNIDAD	1,00	5,28	5,28
MANOMETRO PRESION 0-10 BARES 1/8", REG DE PRESION	UNIDAD	3,00	9,18	27,54
REG AIRE PRESION - 0-10 BAR - 1/4" x 1/4"	UNIDAD	3,00	24,43	73,29
CABLE TIPO SUCRE 3x12AWG	METRO	4,00	2,24	8,95
SIERRA G.F. N° 24 - FINA	UNIDAD	1,00	1,35	1,35
CABINA DE SANDBLASTING SUCC.1.2*0.7*1.7SUMIT909050	UNIDAD	1,00	419,90	419,90
BISAGRA MECANICA 5/8" x 3 ACCIONES	UNIDAD	4,00	0,96	3,84
COMPRESOR 10 HP - 150 PSI - 35 CFM	UNIDAD	1,00	2.319,0	2.319,00
MASCARILLA P/POLVO TOX.	UNIDAD	8,00	0,93	7,45
DISCO CORTE FE4-1/2x1/8x7/8	UNIDAD	1,00	1,30	1,30

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	COST UNIT. (\$/U)	TOT. US \$
DISCO DESBASTE - HIERRO 4-1/2 x 1/4 (AMOLAD PEQUEÑA)	UNIDAD	0,25	1,89	0,47
DISCO CORTE-HIERRO 14" x 1/8" x 1" (TRONZADORA)	UNIDAD	1,00	6,41	6,41
NEOPRENO 1/8 - 3 mm	CM	30,00	0,71	21,30
CEPILLO DE ALAMBRE	UNIDAD	1,00	3,46	3,46
			<b>TOTAL</b>	<b>3.960,73</b>

Fuente: Autor.

### 6.1.1.3. Costos Mano de Obra.

La mano de obra que se utilizó para la implementación de este proyecto fueron instaladores propios de la empresa INCOAYAM, el trabajo de supervisión lo realizó el autor del mismo. A continuación se presenta las horas de trabajo tanto de los instaladores como del supervisor.

El costo de un día de trabajo para las diferentes categorías de obreros o supervisores son los establecidos por la empresa INCOAYAM, donde se considera el sueldo mensual del trabajador, así como aporte al seguro social, decimos terceros y cuartos, para el número de días laborales en el mes.

**Tabla 6.3 Costos Mano de Obra**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$/U)	TOTAL (\$)
Instalador	hora	40,00	3,75	150,00
Ayudante	hora	32,00	3,12	99,84
Supervisión	hora	40,00	5,00	200,00
			<b>TOTAL</b>	<b>449,84</b>

Fuente: Autor.

#### 6.1.1.4. Costos Indirectos

Los costos indirectos que normalmente no son perceptibles pero existen en todos los proyectos.

**Tabla 6.4 Costos Indirectos.**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	COSTO UNIT. (\$/U)	TOTAL (\$)
Transporte	km	0,20	320,00	64,00
Papelería	unidad	1,00	120,00	120,00
Alimentación	unidad	12,00	3,50	42,00
Otros	unidad	1,00	160,00	160,00
<b>TOTAL</b>				<b>386,00</b>

Fuente: Autor.

#### 6.1.1.5. Resumen de Costos de Inversión

En total los costos de inversión de este proyecto son los siguientes:

**Tabla 6.5 Costos de Inversión.**

CONCEPTO	COSTO TOTAL (\$)
Diseño	781,00
Materiales	3.960,73
Mano de Obra	449,84
Indirectos	386,00
<b>TOTAL</b>	<b>5.577,57</b>

Fuente: Autor.

### 6.1.2. ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS

En este punto se estudian los beneficios que se han obtenido por la implementación de este proyecto. Nos centramos específicamente en dos puntos vitales.

#### 6.1.2.1. Beneficio 1 Reducción de costo de operación en el proceso de sandblasting.

El beneficio de la reducción de costos de operación se lo calcula mediante un breve estudio comparativo de los costos operativos antes de la implementación y después de la implementación de la máquina de sandblasting.

- **Costos antes de la implementación**

A continuación se realiza un desglose de los costos de operación de la limpieza de tuberías para el proceso de pintura en un mes de trabajo normal de la empresa INCOAYAM.

Los metros cuadrados promedio de las tuberías que normalmente se limpian durante un mes de trabajo en la planta de la empresa son:

**Tabla 6.6 Área de Tubería Limpiada Mensualmente.**

Tipo de Tubería	M	M2/m	M2
TUBERIA AcN 1" SC.SCH80.A53-B	190,00	0,11	19,95
TUBERIA AcN 1-1/2" SC.SCH80.A53	80,00	0,15	12,16
TUBERIA AcN 1-1/4" SC.SCH80.A53	20,00	0,13	2,64
TUBERIA AcN 2" SC.SCH40.A53-B	50,00	0,19	9,50
		<b>TOTAL</b>	
		<b>M2/mes</b>	<b>44,25</b>

Fuente: Estadísticas departamento de producción INCOAYAM.

El costo de la producción interna anterior, se tomó del último registro de transformación por producción por el método de limpieza de 28 TUBERIAS AcN 1" SC.SCH80.A53-B , (17,64 m<sup>2</sup>) convencional con lijas y gratas, el cual se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 6.7 Costos del Proceso de Limpieza Anterior.**

<b>CANT.</b>	<b>MATERIALES Y MANO DE OBRA</b>	<b>UNID.</b>	<b>P. UNIT</b>	<b>P TOT</b>
8	LIMPIEZA Wype	U	0,15	1,19
2	CEPILLO CIRCULAR TRENZADO 6" x 1/2" x 5/8" - M14	U	14,18	28,35
2	MASCARILLA P/POLVO TOXICO 3M	U	0,93	1,86
8	LIJA PARA HIERRO N° 36	U	0,54	4,29
1,6	MANO DE OBRA	O-D	25,00	40,00
1,6	COSTOS INDIRECTOS	O-D	136,00	217,60
<b>TOTAL</b>				<b>293,29</b>

Fuente: Estadísticas departamento de producción INCOAYAM.

Los costos indirectos son un valor constante que el departamento de tesorería de la compañía maneja donde ya se incluye un valor por mantenimiento de las herramientas y equipos que posee la compañía.

Entonces el costo por metro cuadrado de operación con el método antiguo sería:

$$\text{Costo Unitario1} = \frac{293\$}{17,64m^2} = 16,60 \frac{\$}{m^2}$$

El costo total por mes se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Costo Mensual 1} = \text{Costo Unitario1} * m^2\text{Mensual}$$

$$\text{Costo Mensual 1} = 16,60 \frac{\$}{m^2} * \frac{44,25m^2}{mes} = 734,99 \frac{\$}{mes}$$

- **Costos después de la implementación**

Los costos de operación después de la implementación se basan en los resultados de las pruebas de funcionamiento realizado al sistema implementado, indicados en el capítulo 5.

$$\mathbf{Costo\ unitario\ 2 = 11,28 \frac{\$}{m^2}}$$

Para calcular el costo mensual proyectado después de la implementación sería:

$$\mathbf{Costo\ Mensual\ 2 = Costo\ Unitario2 * m2Mensual}$$

$$\mathbf{Costo\ Mensual\ 2 = 11,28 \frac{\$}{m^2} * \frac{44,25m^2}{mes} = 499,14 \frac{\$}{mes}}$$

Entonces el beneficio mensual por reducción de costos de operación:

$$\mathbf{Beneficio\ 1 = Costo\ Mensual1 - Costo\ Mensual2 \text{ Ecuación (6.1)}}$$

$$\mathbf{Beneficio\ 1 = 734,99 - 499,14 = 235,85 \frac{\$}{mes}}$$

Esto equivale a **32%** de reducción de costo con respecto al proceso antiguo.

#### **6.1.2.2. Beneficio 2: Reducción de tiempo de operación.**

La reducción de tiempo en este proceso es muy importante ya que además de hacer de él un subproducto más económico como se demostró en el punto anterior, hay una consideración igualmente importante que se explica a continuación.

Los operadores que realizan el trabajo de limpieza de las tuberías en la planta, son los mismos instaladores de dichas tuberías en la obra. Esto quiere decir que mientras más tiempo se tarden limpiando tuberías, menos tiempo tendrán para hacer la actividad productiva de la empresa que es instalar tuberías.

Un obrero tiene la capacidad de generar un beneficio promedio de 5500\$ trabajando continuamente<sup>22</sup>, por lo que su tiempo en obras tendría un valor de beneficio equivalente para la empresa. Esto quiere decir que el tiempo que se ahorra en la limpieza de tuberías con la implementación de la cabina de sandblasting, se reflejaría en un aumento del beneficio económico para la empresa. A continuación se hace el cálculo correspondiente:

El tiempo unitario del método anterior sería

$$\mathbf{T tiempo unitario 1} = \frac{1,6 \text{ Dias}}{17,64m^2} * \frac{8 \text{ Horas}}{1 \text{ Dia}} = \mathbf{0,72} \frac{\mathbf{horas}}{\mathbf{m^2}}$$

El tiempo unitario del método nuevo ya se calculó en el capítulo 5.

$$\mathbf{T tiempo unitario 2} = \mathbf{0,53} \frac{\mathbf{horas}}{\mathbf{m^2}}$$

El ahorro de tiempo unitario:

$$\mathbf{Ahorro de Tiempo Unitario} = \mathbf{T tiempo unitario 1} - \mathbf{T tiempo unitario 2}$$

**Ecuación (6.2)**

$$\mathbf{Ahorro de Tiempo Unitario} = 0,72 - 0,53 = \mathbf{0,19} \frac{\mathbf{horas}}{\mathbf{m^2}}$$

Equivale a una reducción de **26%** de tiempo con respecto al método anterior.

---

<sup>22</sup> Información provista por la empresa INCOAYAM, año 2013.



### Ahorro de Tiempo Mensual

$$\text{Ahorro de Tiempo Mensual} = \text{Ahorro de tiempo Unitario} * m2\text{Mes}$$

**Ecuación (6.3)**

$$\text{Ahorro de Tiempo Mensual} = 0,19 \frac{\text{horas}}{\text{m}^2} * \frac{44,25\text{m}^2}{\text{mes}} = 8,40 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$

### Producción por hora

$$\text{Beneficio equivalente} = \frac{5500\$}{\text{mes}} * \frac{1\text{mes}}{20\text{dias}} * \frac{1\text{dia}}{8\text{horas}} = 34,38 \frac{\$}{\text{hora}}$$

### Calculo Beneficio 2

$$\text{Beneficio 2} = \text{Beneficio equiv.} * \text{Ahorro de Tiempo mensual} \quad \text{Ecuación (6.4)}$$

$$\text{Beneficio 2} = 34,38 \frac{\$}{\text{hora}} * 8,40 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} = 288,80 \frac{\$}{\text{mes}}$$

#### 6.1.2.3. Beneficio total

El beneficio total de esta implementación será la suma de los beneficios parciales:

$$\text{Beneficio Total Mensual} = \text{Beneficio1} + \text{Beneficio2} \quad \text{Ecuación (6.5)}$$

$$\text{Beneficio Total Mensual} = 235,85 \frac{\$}{\text{mes}} + 288,80 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$\text{Beneficio Total Mensual} = 524,65 \frac{\$}{\text{mes}}$$

## 6.2. ANÁLISIS FINANCIERO

### 6.2.1. CALCULO DE VALOR ACTUAL NETO (VAN).

El VAN de un proyecto de inversión, es el valor de los flujos de fondos actualizados al momento de la inversión. El criterio de evaluación de éste valor se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 6.8 Criterio de Evaluación del VAN.**

VALOR	SIGNIFICADO	DECISIÓN A TOMAR
VAN>0	La inversión producirá ganancias.	El proyecto puede aceptarse, <b>SI</b> es viable.
VAN<0	La inversión producirá pérdidas.	El proyecto debería rechazarse, <b>NO</b> es viable.
VAN=0	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas.	Si la tasa permite un riesgo alto aceptar el proyecto.

Fuente: Autor.

En una hoja de cálculo de Microsoft Excel se puede calcular fácilmente el VAN, con la función =VNA(), se tienen que ingresar los siguientes datos que ya fueron calculados en el análisis económico.

Costo de inversión inicial: 5.577,57 \$
Periodo de análisis: 16 meses
Beneficio mensual: 524,65 \$.
TMAR <sup>23</sup> : 12% anual, 1% mensual.

<sup>23</sup> TMAR: Tasa Mínima Atractiva de Retorno.



**Tabla 6.10 Criterio de Evaluación del TIR.**

METODO	DECISION A TOMAR	
	SI es rentable	NO es Rentable
TIR	$\geq$ TMAR	$<$ TMAR

Fuente: Autor.

De la misma forma la función TIR en Excel calcula el siguiente valor.

**TIR            5,27% ; TMAR            1,00%**

Vemos que el  $TIR > TMAR$ , por lo que éste proyecto es rentable.

### 6.2.3. PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI)

El PRI es el tiempo que se necesita para recuperar la inversión total que se ha efectuado en el proyecto, mientras menor sea el periodo de recuperación del capital se considera apropiado.

**Tabla 6.11 Valores Actualizados Flujo de Fondos. (VAFF).**

INVERSIÓN		5.577,57	
MES	DETALLE	VAFF	DESCUENTO
1	Flujo de Fondos Actualizados	519,46	5.058,11
2	Flujo de Fondos Actualizados	514,31	4.543,80
3	Flujo de Fondos Actualizados	509,22	4.034,58
4	Flujo de Fondos Actualizados	504,18	3.530,40
5	Flujo de Fondos Actualizados	499,19	3.031,22
6	Flujo de Fondos Actualizados	494,24	2.536,97
7	Flujo de Fondos Actualizados	489,35	2.047,62
8	Flujo de Fondos Actualizados	484,51	1.563,12
9	Flujo de Fondos Actualizados	479,71	1.083,41
10	Flujo de Fondos Actualizados	474,96	608,45
11	Flujo de Fondos Actualizados	470,26	138,19
<b>12</b>	<b>Flujo de Fondos Actualizados</b>	<b>465,60</b>	<b>-327,41</b>
<b>13</b>	<b>Flujo de Fondos Actualizados</b>	<b>460,99</b>	<b>-788,40</b>
<b>14</b>	<b>Flujo de Fondos Actualizados</b>	<b>456,43</b>	<b>-1.244,82</b>
<b>15</b>	<b>Flujo de Fondos Actualizados</b>	<b>451,91</b>	<b>-1.696,73</b>
<b>16</b>	<b>Flujo de Fondos Actualizados</b>	<b>447,43</b>	<b>-2.144,16</b>

Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la tabla anterior unos días después del onceavo mes se recupera la inversión. **PRI= 12 meses.**

#### 6.2.4. RELACIÓN COSTO BENEFICIO (C/B)

La (C/B) es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a los inversionistas.<sup>25</sup> La relación de costo beneficio es la relación entre la sumatoria de flujos de fondos actualizados VAFF, en el periodo de evaluación del proyecto, dividido para la inversión.

$$\text{Relacion Costo Beneficio} = \frac{\sum_1^{12} \text{VAFF}}{\text{INVERSION}} \text{ Ecuación (6.6) Costo/Beneficio.}$$

**Tabla 6.12 Relación Costo Beneficio.**

INVERSIÓN		5.577,57
MES	DETALLE	VAFF
1	Flujo de Fondos Actualizados	519,46
2	Flujo de Fondos Actualizados	514,31
3	Flujo de Fondos Actualizados	509,22
4	Flujo de Fondos Actualizados	504,18
5	Flujo de Fondos Actualizados	499,19
6	Flujo de Fondos Actualizados	494,24
7	Flujo de Fondos Actualizados	489,35
8	Flujo de Fondos Actualizados	484,51
9	Flujo de Fondos Actualizados	479,71
10	Flujo de Fondos Actualizados	474,96
11	Flujo de Fondos Actualizados	470,26
12	Flujo de Fondos Actualizados	465,60
13	Flujo de Fondos Actualizados	460,99
14	Flujo de Fondos Actualizados	456,43
15	Flujo de Fondos Actualizados	451,91
16	Flujo de Fondos Actualizados	447,43
TOTAL		7.721,73
C/B		1,38

Fuente: Autor.

La relación costo beneficio de este proyecto es de **1.38** al ser mayor a uno confirmamos la viabilidad de inversión en este proyecto.

<sup>25</sup> <http://www.pymesfuturo.com/costobeneficio.html>

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un sistema de aire comprimido eficiente a la medida de las necesidades de la empresa INCOAYAM, reutilizando la mayor cantidad de materiales posibles.
- El sistema diseñado tiene una posibilidad de expansión del 35% de caudal de aire requerido ya sean más puntos de consumo, o mayor caudal en los puntos ya implementados.
- La implementación y construcción del sistema de aire comprimido se realizó apenas 3 semanas, para esto fue fundamental la planificación oportuna de las actividades, y una supervisión constante de la ejecución del proyecto.
- Se elaboró un manual de usuario y plan de mantenimiento del sistema de aire comprimido, ajustando los parámetros de los manuales de los equipos, a las condiciones de trabajo de la planta de INCOAYAM.
- Se consiguió readecuar la estación de sandblasting subutilizada realizando modificaciones en su diseño, así como la implementación de elementos que facilitaron el uso de esta máquina para limpieza de tuberías multi diámetro.
- Con la implementación de este proyecto el orden en la planta aumentó, además, el trabajo que realizan los operadores es más ergonómico, por estos motivos se ha generado un nivel de satisfacción elevado en los miembros de la compañía.
- El nuevo método de limpieza de tuberías implementado redujo el tiempo de ejecución de esta actividad en un 25% con respecto al método anterior, además de recursos materiales, produciendo así beneficios económicos suficientes para recuperar la inversión del proyecto, incluyendo el sistema de aire comprimido en 12 meses.

- El proyecto demostró ser rentable por tener una tasa interna de retorno de 5.27% mensual y una relación costo beneficio de 1,38. Esto quiere decir que por cada dólar invertido se recupera 1,38\$.
- La realización de este proyecto apporto a la filosofía de la empresa INCOAYAM, con respecto a la mejora continua de sus procesos, perfeccionando todas las actividades relacionadas al aire comprimido y limpieza de tuberías.
- El cumplimiento de este proyecto de una forma integral, con alta calidad, respetando las normas y reglamentos de la Escuela Politécnica del Ejército, permite al autor del mismo cumplir con un requisito para su titulación de Ingeniero Mecánico.
- Los conocimientos adquiridos durante la formación académica en la universidad, fueron suficientemente buenos para que el autor consiga desarrollar este proyecto de una forma eficiente.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda instruir al personal de INCOAYAM sobre los usos específicos del aire comprimido dentro de la empresa. Éste, es un recurso que al ser consumido irresponsablemente produce altos costos de consumo energético, por ende desperdicios económicos.
- Se recomienda invertir el beneficio generado por la implementación de este proyecto al aumento de mano de obra productiva, de esta manera el beneficio sería mayor.
- Mantener los sistemas eficientes depende directamente de su mantenimiento oportuno para tener a sus elementos funcionales y sin fallas, por lo cual se recomienda poner especial atención en el mantenimiento preventivo de los mismos.
- Para los sistemas de aire comprimido es recomendable utilizar motores eléctricos trifásicos de alta eficiencia, ya que estos tienen menores pérdidas, por ende un menor consumo de energía nominal, lo cual

genera ahorros económicos en la generación de aire comprimido, aportan a las filosofías de producciones “verdes” o más eficientes.

- Es importante tomar en cuenta el uso de equipo de protección personal en los procedimientos de la empresa INCOAYAM.
- Continuar aplicando la filosofía de mejora continua buscando permanentemente procesos y/o actividades susceptibles a cambios para mejorar sus condiciones.
- Ya que el proceso de búsqueda y aprobación de temas de tesis es muy largo y difícil, se recomienda implementar el desarrollo del proyecto de grado dentro de la formación académica, en la malla curricular, de esta forma se lograrían acortar los tiempos entre egresamiento y graduación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bogue, H. (2007). *Hoppenstedt Publishing: Compressed Air Compendium* (7ªEd).
- Atlas Copco (2010). *Aire comprimido y su aplicación en la industria*.  
Venezuela: Atlas Copco.
- Aguinaga, A. (2005). *Compresores y Redes de Aire Comprimido. Ecuador*.  
Escuela Politécnica Nacional.
- Ingersoll Rand. (2000). *Folleto: Diseño de redes neumáticas*. Accesory  
División. Irlanda: Ingersoll Rand.
- Torres, L. (2006). *Propuesta de una red de Aire Comprimido*. Tesis de  
Titulación de Ingeniero Mecánico, Universidad de San Carlos,  
Guatemala.
- Heese, S. (2002). *Aire Comprimido, Fuente de energía: Preparación y  
Distribución*. Esslingen: Festo AG & Co.
- Ranald, V. (2005). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. España: Schaum,  
McGraw-Hill.
- Society for Protective Coatings. (2002). *Guide And References Photographs  
For Steel Surfaces Prepared By Dry Abrasive Blast Cleaning*.  
Pennsylvania: SSPC.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *Instalaciones de Gases Combustibles para Uso Residencial, Comercial e Industrial*. Ecuador: NTE INEN.

American Society Of Mechanical Engineers. (1999). *ASME B31.8: Sistemas de Tubería para Transporte y Distribucion de Gas*. USA: ASME.

Normas.(s.f.).En Universidad Técnica de Prereira. Recuperado de <http://www.utp.edu.co/cmsutp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/granallado-normas-preparacion-de-superficie.pdf>

Manuales. (s. f.). En Campbell Hausfeld. Recuperado de <http://www.chpower.com/manualsearch/>

Neumática. (s. f.). En Portal eso Educativo. Recuperado de [http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_neumatica/neumatica\\_indice.html](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/neumatica_indice.html)

Granalla o Granalla. (s. f.). Blasting Granalladoras y Arenadoras. Recuperado de <http://www.blasting.com.ar/granalladoras/informacion-tecnica/informes/Arena-o-granalla-de-acero.pdf>

## **ANEXOS**