

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RESPALDO DE AIRE
COMPRESO PARA EL CONTROL NEUMÁTICO EN UNIDADES
DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A GAS**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller:
Jesús A González M
Para Optar al Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RESPALDO DE AIRE
COMPRESO PARA EL CONTROL NEUMÁTICO EN UNIDADES
DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A GAS**

Tutor Académico: Prof. Ing. Valerio Chechelev
Tutor Industrial: Ing. Carlos Peleato

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller:
Jesús A González M
Para Optar al Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas 2005

RESUMEN

Jesús A González M

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RESPALDO DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL CONTROL NEUMÁTICO EN UNIDADES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A GAS

Tutor Académico: Ingeniero Valerio Chechelev. Tutor Industrial: Ingeniero: Carlos Peleato. Tesis. Caracas. UCV: Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 222 páginas.

Aire comprimido. Control neumático. Aire de instrumentación.

El presente proyecto consistió en la elaboración del diseño conceptual, así como también en el desarrollo de la ingeniería de detalle de un sistema de aire de respaldo, asociado a la instrumentación de unidades de generación eléctrica a gas, a través, del estudio de los sistemas asociados al aire de instrumentación y de la problemática existente en la actualidad.

La necesidad de la Electricidad de Caracas Planta OAM, de crear un sistema de emergencia nació debido a la importancia que tiene el aire de instrumentación dentro del proceso de generación eléctrica y las posibles consecuencias que pudiera ocasionar la falta del mismo.

Se estudió y analizó la interrelación del sistema de aire de instrumentación con los demás sistemas asociados a las unidades de generación, así como también las posibles consecuencias de la falta de aire para mecanismos y sistemas.

A través de discusiones de las diferentes propuestas de solución conceptual, se logró llegar a una propuesta de solución final a la problemática actual del sistema de aire, que cumpliera con las exigencias del sistema para su óptimo funcionamiento y también con las del personal que labora en la planta.

Mediante el estudio de las propiedades del aire de instrumentación y los materiales y equipos disponibles en el almacén o en el mercado, se realizó la selección de todos los elementos que formarán parte del sistema de respaldo de aire de instrumentación. Realizando entonces lista de materiales, plano operativo y manual de instalación y ubicación de los equipos del sistema de emergencia.

DEDICATORIA

A Dios creador de todo. Por darme vida y llenarme de virtudes que han sido utilizadas para hacer mis sueños realidad.

A mi Madre, Nuvia Maruja Mujica. Por traerme al mundo y llenar mi vida y alma de amor y alegría.

A mi Tía Xiomara Carolina González. Por darme apoyo incondicional en todos los momentos y por creer en mí.

A mi Primo Mauricio González. Por estar a mi lado en todos los momentos dándome apoyo y compañía.

A toda mi Familia y Amigos. Por confiar en mi, por acompañarme durante todos estos años

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar inicialmente mi agradecimiento a la ilustre Universidad Central de Venezuela, por haber permitido mi formación como profesional de la ingeniería, con criterios y bases sólidas.

Gracias a Dios por haberme acompañado durante la realización de este proyecto y a mis padres por estar siempre pendientes de mí y por apoyarme incondicionalmente.

A mi Tía Carolina, por toda la ayuda que me has brindado ahora y durante toda mi vida.

A la Universidad Central de Venezuela, por haber permitido mi formación como profesional de la ingeniería, con criterios y bases sólidas.

A mi Tutor Académico Prof. Ing. Valerio Chechelev, quien me brindó su valiosa colaboración en la realización de este trabajo, guiándome de manera correcta para alcanzar los objetivos propuestos.

Al Ing. Carlos Peleato, por darme la oportunidad de realizar este proyecto, por su estímulo y guía en el cumplimiento de los objetivos. Gracias por creer en mí.

A mi Amigo Néstor Carrasquero, por estar siempre pendiente de los pasos que doy y brindarme su ayuda en todo momento.

Al Sr. Armando Suárez, por su disposición a atender mis inquietudes en todo momento, por responder mis interrogantes, por ofrecerme sus conocimientos y experiencia para el desarrollo del proyecto.

A la E.D.C. por darme la oportunidad de realizar este proyecto. Doy gracias a la colaboración de todas las personas que laboran en la planta, entre ellas: Ángel González, José Patiño, Víctor Gamboa, Martha Vásquez, Rubén Moreno, Manuel Martínez, Marialbert Fuentes, Iliana Monroy, Javier Salas.

A todos mis familiares por poner en mí su confianza: Alfredo González, Gladys y Antonio Gheri, Félix y Grey Gheri, Mari Gheri, Coromoto Gheri, Silvia Gheri, Chela Gheri, Galezka Lobera, Miriam González, Mario González, Omar González, Jean Claude Saulny, Aurora Mujica.

A todos mis amigos que estuvieron a mi lado y me ayudaron durante todo el transcurso de la carrera: Scarlet Capote, Jennifer Torrealba, Alberto Orta, Carmine Rotunno, Gustavo Moreno, Peter Leaven, Carlos Blanco, Adriana Ramírez, Edwin Rivas, William Gutiérrez, Jonathan Silvio, Ricardo Pérez, Erick Salcedo, Jorge Rodríguez, Fernando Fernández, Yube Karina, Julio Bastidas.

A todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto.

El Autor.

SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS

A	Área
AC	Corriente alterna
AL	Alarma
C _p	Calor específico del aire a presión constante
CV	Válvula de retención
D ó ϕ	Diámetro
DIN	Deutsche Industrie-Normen
DPU	Unidad procesadora de datos
E.D.C.	Electricidad De Caracas
F	Fuerza
F.A.D	Free Air Delivery
f _e	Factor de expansión
f _f	Factor de fugas
Fi	Filtro i
FM	Modulador de flujo
f _s	Factor de simultaneidad
f _u	Factor de uso
g	Aceleración de gravedad
I/O	Tarjetas de entrada-salida
ISO	International Organization for Standardization
K	Relación de calores específicos
m	Masa
NC	Normalmente cerrado
NO	Normalmente abierto
O.A.M.	Oscar Augusto Machado
OST	Over speed trasmissor

P	Presión
PI	Indicador de presión
PR	Válvulas reguladoras de presión
PS	Interruptor de presión
Ps	Presión estándar
PT	Transmisor de presión
Q	Caudal
Q _L	Calor rechazado por el sistema
R	Constante de gases ideales
SI	Sistema Internacional
SV	Válvula solenoide
T	Temperatura
t	Tiempo
t _{ll}	Tiempo de llenado
TM	Modulador de temperatura
Ts	Temperatura estándar
t _v	Tiempo de vaciado
V	Volumen
VFD	Regulador de frecuencia
W	Peso
W_{neto}	Trabajo neto
ZS	Interruptor de posición
η	Rendimiento del ciclo Brayton
ψ	Factor de seguridad
ρ	Densidad

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Simbología	iv
Índice de Contenido	v
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	vii
<i>INTRODUCCIÓN</i>	2
<i>CAPÍTULO I – DEFINICIÓN DEL PROYECTO</i>	3
1.1 Descripción del Proceso	4
1.2 Planteamiento del Problema	6
1.3 Objetivo	9
1.3.1 Objetivo General	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
1.4 Alcances	10
1.5 Limitaciones	12
<i>CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO</i>	13
2.1 Aspectos Relacionados con Turbinas a Gas	14
2.1.1 Turbinas a Gas	14
2.1.2 Ciclo Brayton	15
2.2 Neumática	17
2.2.1 Conceptos Básicos del Aire Comprimido	17
2.2.1.1 Presión	17
2.2.1.2 Caudal	17
2.2.1.3 Temperatura	18
2.2.1.4 Condiciones Estándar de Temperatura y Presión	18
2.2.1.5 Volumen de Aire Libre Suministrado	18
2.2.1.6 Humedad Relativa	18
2.2.1.7 Punto de Rocío	18

2.2.2	Propiedades del aire comprimido	19
2.3	Descripción de Equipos Turbogeneradores de la Planta O.A.M	19
2.3.1	Turbocompresor	20
2.3.2	Generador/excitador	21
2.3.3	Paquete de Arranque	21
2.3.4	Sistema de Admisión de Aire	22
2.3.5	Sistema de Combustión	22
2.3.6	Sistema de Combustible	23
2.3.6.1	Sistema de Combustible Líquido	23
2.3.6.2	Sistema de Combustible Gaseoso	24
2.3.7	Sistema de Lubricación	24
2.3.8	Sistema de Escape	25
2.3.9	Paquete Eléctrico	26
2.3.10	Paquete Mecánico	26
2.3.11	Paquete de Tuberías	26
2.4	Sistema de Aire de la unidad Turbogeneradora	26
2.4.1	Requerimientos de Seguridad	27
2.4.2	Descripción de Operación	27
2.5	Sistema de Aire de Instrumentación	28
2.6	Componentes del Sistema de Aire de Instrumentación	30
2.6.1	Filtros	30
2.6.2	Válvula Reguladora de Presión	30
2.6.3	Válvulas de Retención	31
2.6.4	Secador de Aire	31
2.6.5	Interruptor de Presión	32
2.6.6	Compresor Auxiliar de Aire de Instrumentación	32
2.6.7	Tanque Auxiliar de Aire	32
2.7	Sistemas o Mecanismos donde es Utilizado el Aire de Instrumentación	32
2.7.1	Sistema de Lubricación de Aceite	33
2.7.2	Mecanismo de Válvulas Desaireadoras del Compresor	33

2.7.3 Mecanismo de Regulación de Entrada de Aire al Compresor	34
2.7.4 Sello de Aire para los Cojinetes.....	35
2.7.5 Sistema de Purga de Combustible	35
2.7.6 Sistema de Gas. Apertura de Válvulas.....	37
2.7.7 Aire de Atomización	38
2.8 Mantenimiento.....	39
2.8.1 Definición General de Mantenimiento.....	39
2.8.2 Clasificación del Mantenimiento.....	40
2.8.2.1 Mantenimiento Operacional.....	40
2.8.2.2 Mantenimiento Mayor.....	40
2.8.2.3 Mantenimiento Preventivo.....	41
2.8.2.4 Mantenimiento Correctivo	42
2.8.2.5 Mantenimiento Predictivo.....	42
2.8.2.6 Mantenimiento Proactivo.....	43
2.8.2.7 Mantenimiento por Averías.....	43
2.8.2.8 Mantenimiento Rutinario.....	43
2.8.2.9 Mantenimiento Programado.....	43
2.8.2.10 Parada de Planta	43
2.8.2.11 Extraordinario.....	43
2.8.3 Costos Asociados al Mantenimiento.....	44
2.8.4 Planes de Mantenimiento.....	44
2.8.4.1 Plan Estratégico	44
2.8.4.2 Plan Operativo.....	45
2.9 Análisis de Criticidad.....	45
 <i>CAPÍTULO III - MARCO METODOLÓGICO</i>	 47
3.1 Tipo de Investigación	48
3.1.1 Investigación Aplicada.....	48
3.1.2 Investigación Documental.....	48
3.1.3 Investigación de Campo	49
3.1.4 Investigación Descriptiva.....	49
3.1.5 Investigación Exploratoria.....	49
3.2 Procedimientos y actividades.....	50
3.3 Métodos Usados de Recolección de Datos e Información.....	51
3.4 Concepción para el Desarrollo del Diseño.....	52

3.4.1	Diseño Conceptual de Sistema.....	52
3.4.1.1	Objetivo.....	52
3.4.1.2	Procedimiento.....	52
3.4.1.3	Propuesta A	53
3.4.1.4	Descripción de Propuesta.....	54
3.4.1.5	Propuesta B	55
3.4.1.6	Descripción de Propuesta.....	55
3.4.1.7	Propuesta C	57
3.4.1.8	Descripción de Propuesta.....	57
3.4.1.9	Propuesta D	59
3.4.1.10	Descripción de Propuesta.....	60
3.4.2	Selección de Materiales y equipos.....	60
3.4.2.1	Procedimiento para la Selección de equipos	61
3.4.2.2	Verificación de compresores Atlas Copco	62
3.4.3	Desarrollo del Manual de Instalación.....	62
3.4.3.1	Ubicación.....	62
3.4.3.2	Elaboración de Cómputos Métricos y Planos	63
3.4.3.2.1	Cómputos Métricos.....	63
3.4.3.2.2	Planos de Operación.....	63
3.4.3.3	Ajustes de los Instrumentos.....	63
3.4.4	Desarrollo de la Lógica de Control.....	64
3.4.4.1	Características del Sistema de Control	64
3.4.4.2	Información que Suministra el Sistema	64
3.4.5	Plan de Operación y Mantenimiento.....	65

CAPÍTULO IV – DESARROLLO DEL PROYECTO 66

4.1	Evaluación de las Condiciones de Operación de las Unidades de Generación	67
4.2	Análisis de la Problemática Existente.....	67
4.2.1	Sistemas Críticos	67
4.2.2	Posibles Causas de Fallas del Sistema	

de Aire	69
4.2.3 Cálculo de la Criticidad	70
4.2.3.1 Objetivo	70
4.2.3.2 Muestra	70
4.2.3.3 Periodo de Tiempo	70
4.2.3.4 Frecuencia de Falla.....	73
4.2.3.5 Equipos que Conforman los Sistemas	73
4.2.3.6 Horas de Servicio	74
4.2.3.7 Nivel de Peligrosidad	74
4.2.3.8 Determinación del Número de Criticidad	75
4.2.3.9 Exposición de Criticidad	76
4.2.4 Análisis de Resultados Obtenidos	77
4.3 Ingeniería Conceptual.....	78
4.3.1 Desarrollo de Propuesta de Solución	78
4.3.1.1 Objetivo.....	78
4.3.1.2 Propuesta Aprobada	78
4.3.1.3 Descripción de Operación	79
4.4 Propiedades Físicas del Aire de Instrumentación	80
4.5 Verificación del Uso de los Compresores Atlas Copco	81
4.5.1 Modelo	81
4.5.1.1 Principio de Funcionamiento	82
4.5.1.2 Características de Operación	82
4.5.2 Calidad del Aire Comprimido	82
4.5.2.1 Factores que Determinan la Calidad.....	82
4.5.2.2 Condiciones Estándar Atlas Copco	83
4.5.3 Selección de Compresores y Equipos Auxiliares	83
4.5.3.1 Compresores	83
4.5.3.1.1 Referencia	83
4.5.3.1.2 Aplicaciones.....	83
4.5.3.1.3 Capacidad Requerida.....	83
4.5.3.1.4 Caudal.....	83

4.5.3.1.5 Presión	86
4.5.3.2 Secador de Aire	88
4.5.3.3 Filtros	90
4.5.3.4 Depósito de Aire	91
4.5.3.5 Vaciado y Llenado del tanque	91
4.5.3.5.1 Vaciado.....	92
4.5.3.5.2 Llenado.....	93
4.5.3.6 Volumen del Depósito	94
4.5.3.6.1 Tipo de Regulación.....	94
4.5.3.6.2 Tiempo Mínimo de Arranque	94
4.5.3.6.3 Número de Compresores	94
4.5.3.6.4 Densidad Promedio	94
4.5.3.6.5 Tiempo de Vaciado	95
4.5.4 Análisis de Resultados Obtenidos	97
4.6 Desarrollo de Ingeniería de Detalle	99
4.6.1 Selección de Materiales y Equipos	99
4.6.2 Ubicación e Instalación del Sistema de Respaldo	100
4.6.2.1 Ubicación	100
4.6.2.2 Instalación	100
4.6.3 Elaboración de Cómputos Métricos y Planos	100
4.6.3.1 Cómputos Métricos	100
4.6.3.2 Plano de Operación	100
4.6.4 Ajuste de los Instrumentos	101
4.6.4.1 Set del Transmisor de Presión PT15701	101
4.6.4.2 Set de Interruptor de Presión PS15703	101
4.6.5 Diseño de Soportes	103
4.6.5.1 Definición del Equipo	103
4.6.5.2 Definición del Material	104
4.6.5.3 Cálculo de Peso	104
4.6.5.4 Cálculo del diámetro de tornillos	105
4.6.6 Diseño de las Tuberías	106

4.7 Plan de Mantenimiento Preventivo Maestro	107
4.7.1 Objetivos	107
4.7.2 Componente	107
4.8 Plan de Mantenimiento Preventivo Detallado	110
4.8.1 Objetivos	110
4.8.2 Formato en Blanco	111
4.8.3 Lista de Equipos	112
4.9 Manual de Mantenimiento (Versión Digital).....	114
4.10 Manual de Operación	114
<i>CAPÍTULO V– DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL</i>	116
5.1 Desarrollo de la Lógica de Control	117
5.1.1 Equipos	117
5.1.1.1 Interruptor de Presión PS15703	117
5.1.1.2 Interruptor de Presión PS15702	117
5.1.1.3 Transmisor de Presión PT15701	118
5.1.1.4 Válvula Solenoide SV15701	118
5.1.2 Acción del Sistema de Control	118
5.1.3 Diagrama de Flujo	120
5.1.4 Definición de los Puntos	121
5.1.5 Transmisor de Presión PT15701	121
5.1.5.1 Frequency	121
5.1.5.2 Record Type	121
5.1.5.3 Print Format	122
5.1.5.4 Point Name	122
5.1.5.5 Top of Bar	122
5.1.5.6 Bottom of Bar	122
5.1.5.7 Point Description	123
5.1.5.8 Engineering Units of Current Value	123
5.1.5.9 Entered Value	123
5.1.5.10 Card Type Index	123
5.1.5.11 Card Address	124
5.1.5.12 Alarm Priority	125
5.1.5.13 Alarm Dest	125
5.1.5.14 Limit Check Flag	125
5.1.5.15 High Limit	126

5.1.5.16 Low Limit	126
5.1.5.17 Inc Limit	126
5.1.5.18 Deadband	127
5.1.5.19 High Sensor Limit	127
5.1.5.20 Low Sensor Limit	127
5.1.5.21 Conversion Type	127
5.1.5.22 Conv Index	128
5.1.5.23 Drop No	128
5.1.5.24 Diagram Index	128
5.1.6 Algoritmos de Textos	130
5.1.6.1 Low Limit	130
5.1.6.2 And	131
5.2 Muestra de puntos	132
5.2.1 PT55701	132
5.2.2 PS55702	134
5.2.3 PS55703	135
5.2.4 AL55702	136
5.2.5 AL55703	137
5.3 Algoritmos de Textos	138
<i>CAPÍTULO VI- ESTIMACIÓN DE COSTOS</i>	140
6.1 Costos de la Puesta en Marcha del Proyecto	141
6.1.1 Costos de Materiales y Equipos	141
6.1.2 Costos Asociados a la instalación	142
6.1.2.1 Por Parte de la Contratista	142
6.1.2.2 Por Parte de Empleados	142
6.1.3 Costo Total Estimado	142
<i>CONCLUSIONES</i>	143
<i>RECOMENDACIONES</i>	146
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	147
<i>APÉNDICE A</i>	152
<i>APÉNDICE B</i>	178
<i>APÉNDICE C</i>	191
<i>APÉNDICE D</i>	208
<i>APÉNDICE E</i>	213
<i>APÉNDICE F</i>	217

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1.	Alimentación del sistema de aire de instrumentación	6
Figura 2.	Diagrama de Ishikawa	11
Figura 3.	Ciclo ideal. Turbinas a gas	14
Figura 4.	Ciclo ideal Brayton	15
Figura 5.	Sistema de aire	27
Figura 6.	Sistema de aire de instrumentación actual	29
Figura 7.	Esquema de filtros de Aire y Reguladora de Presión	30
Figura 8.	Válvula de retención	31
Figura 9.	Secador de aire	31
Figura 10.	Control de temperatura del aceite	33
Figura 11.	Funcionamiento válvulas desaireadoras	34
Figura 12.	Funcionamiento álabes guías	34
Figura 13.	Sello de aire para los cojinetes	35
Figura 14.	Purga en caso de cambio de combustible	36
Figura 15.	Purga de gas	37
Figura 16.	Apertura válvula principal de gas	38
Figura 17.	Aire de Atomización	38
Figura 18.	Diagrama de Ishikawa	52
Figura 19.	Propuesta de solución A	53
Figura 20.	Propuesta de solución B	56
Figura 21.	Propuesta de solución C	58
Figura 22.	Propuesta de solución D	59
Figura 23.	Diagrama de flujo para selección de equipos	61
Figura 24.	Porcentaje de fallas	71
Figura 25.	Porcentaje de fallas de equipos del sistema de aire	71
Figura 26.	Número de fallas por unidad	72

Figura 27.	Número de fallas del Sistema de Instrumentación por unidad	72
Figura 28.	Diseño final	78
Figura 29.	Diagrama de funcionamiento de compresores GA	81
Figura 30.	Superficie y volumen de control	92
Figura 31.	Diagrama de compresores y depósito	94
Figura 32.	Balance de masas	95
Figura 33.	Niveles de presión del Aire de Instrumentación	99
Figura 34.	Medición de pérdidas	102
Figura 35.	Instalación de válvula de purga	103
Figura 36.	Dimensión de la lámina del soporte	104
Figura 37.	Diagrama de fuerzas de corte	105
Figura 38.	Diagrama de tuberías	106
Figura 39.	Formato de mantenimiento maestro	109
Figura 40.	Formato de mantenimiento detallado	111
Figura 41.	Diagrama de flujo	120
Figura 42.	Algoritmo de texto (Low Limit)	130
Figura 43.	Algoritmo de texto (And)	131
Figura 44 A.	Ventana de información PT55701	132
Figura 44 B.	Ventana de información PT55701	133
Figura 45.	Ventana de información PS55702	134
Figura 46.	Ventana de información PS55703	135
Figura 47.	Ventana de información AL55702	136
Figura 48.	Ventana de información AL55703	137
Figura 49.	Algoritmo de texto (Low Limit)	138
Figura 50.	Algoritmo de texto (And)	138
Figura 51.	Algoritmo de texto (And)	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Propiedades del aire	60
Tabla 2.	Valoración de cantidad de fallas	73
Tabla 3.	Ponderación de cantidad de equipos	74
Tabla 4.	Ponderación de horas de servicio	74
Tabla 5.	Ponderación de nivel de peligro	75
Tabla 6.	Nivel de criticidad	75
Tabla 7.	Exposición de valores de criticidad	76
Tabla 8.	Criticidad de los sistemas	77
Tabla 9.	Valores óptimos de la calidad del aire	83
Tabla 10.	Nivel profesional	108
Tabla 11.	Nivel de alarmas	125
Tabla 12.	Costo de equipos	141

Caracas, Junio de 2005

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Jesús A. González M, titulado:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RESPALDO DE AIRE
COMPRESO PARA EL CONTROL NEUMÁTICO EN
UNIDADES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A GAS”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios que conduce al Título de Ingeniero Mecánico.

Simón Hernández

Prof. Simón Hernández
Jurado

Martínez

Prof. Manuel Martínez
Jurado

Chechelev

Prof. Valerio Chechelev
Tutor Académico



INTRODUCCIÓN

Venezuela es un país que cuenta con un sistema eléctrico particular debido al gran potencial hidrológico que ha sido aprovechado con el fin de producir la energía eléctrica. Sin embargo, el crecimiento paulatino del país y las condiciones hidrológicas de los últimos años, originan nuevas necesidades de generación de electricidad, que a falta de crecimiento del sector de generación eléctrico del país, son asumidas principalmente por plantas de generación a gas.

Actualmente La Electricidad de Caracas posee una serie de parques de generación eléctrica. Uno de ellos es la planta Oscar Augusto Machado O.A.M. Ubicada en el Km. 8 de la Carretera Panamericana vía San Antonio de los Altos. La cual es una planta de generación eléctrica a gas.

Las plantas de generación eléctrica a gas son las que inicialmente deben responder en caso de una contingencia del Sistema Interconectado Nacional. En virtud de ello se refleja la importancia de la disponibilidad de las unidades de una planta de generación a gas.

Las unidades de generación eléctrica a gas que se encuentran en la planta O.A.M. cuentan con un sistema de aire a presión, utilizado para diversas labores relacionadas con la generación eléctrica, tales como, sistema de lubricación de aceite, mecanismo de válvulas desaireadoras del compresor, mecanismo de regulación de entrada de aire al compresor, sello de aire para los cojinetes, sistema de purga de combustible, aire de atomización para los combustores, sistema de gas (apertura de válvulas) y enfriamiento del cableado. Todos los mecanismos mencionados son fundamentales para la buena operación de las unidades.

La necesidad de la disponibilidad de las unidades sumado a la importancia del sistema de aire de instrumentación y las grandes pérdidas económicas que pudieran ocasionarse debido a una falla de este sistema, son las bases que fundamentan el desarrollo de este proyecto.

Las unidades de generación con las cuales cuenta la planta O.A.M. dependen altamente de la producción de aire presurizado para realizar labores de medición y control necesarias para la generación de energía, es decir, la mayoría de los mecanismos asociados a la producción eléctrica de estas unidades son accionados a través de señales neumáticas, razón por la cual se nota lo fundamental del mantenimiento de la producción y el buen suministro de aire presurizado a los distintos sistemas que conforman una unidad de generación.

El siguiente proyecto tiene como objetivo fundamental el diseño de un sistema de emergencia que sea capaz de suministrar aire para la instrumentación de las unidades cuando el sistema original presente alguna falla. Un sistema de respaldo ideal sería aquel que actúe sólo en caso de una verdadera emergencia garantizando así la vida útil de las unidades.

Para la obtención de un resultado satisfactorio se contó con el apoyo de todo el personal que labora dentro de la planta ya que ellos son los principales interesados en la protección tanto del personal como en el resguardo de las unidades de generación eléctrica a gas.

Capítulo I

Definición del proyecto

CAPÍTULO I – DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 Descripción del Proceso

Todas las unidades termoeléctricas W-501D5 trabajan de acuerdo al principio *Brayton*, ciclo simple. El objetivo de este proceso es aprovechar la inercia de un fluido, transformarla en energía mecánica y luego transformarla en energía eléctrica. Para poder lograrlo es necesario tres etapas termodinámicas: compresión, combustión y expansión.

En las unidades el proceso es de la siguiente manera: el aire para realizar la combustión es tomado del medio ambiente. Obligándolo a pasar por una serie de prefiltros y filtros, con el objetivo de eliminar partículas que puedan dañar las partes de la turbina.

El compresor axial es el encargado de succionar toda la cantidad de aire que necesita la unidad (6.000.000 libras/hora). Además de succionar el aire, es capaz de comprimirlo a una relación de 14:1, todo esto con el objetivo de introducir aire en la cámara de combustión a una presión de 171 psig y una temperatura de 747 °F.

Dentro de la cámara de combustión se encuentran 14 cestos combustores, colocados circunferencialmente alrededor del eje de la unidad. Cada combustor consta, a su vez de un quemador y una pieza de transición unida por una abrazadera cilíndrica. El aire encontrado en la cámara de combustión se introduce en los cestos combustores a través de unos orificios diseñados con esa función. Los quemadores introducen gas natural o fuel oil #2 (dependiendo de la unidad) en los cestos combustores y la mezcla y se mezcla el aire con el combustible. La ignición de estos

elementos (combustible y aire) es proporcionada sólo en el arranque de la unidad por dos (2) ignitores.

Los álabes de potencia de la turbina son los encargados de aprovechar la velocidad de los gases calientes de la combustión, enviándola al rotor de la turbina en forma de energía mecánica rotativa.

El generador se encarga de transformar esta energía mecánica en energía eléctrica. Luego la envía al transformador de corriente, que permite la fácil distribución de la electricidad a los distintos puntos de consumo. Después que los gases son aprovechados por los álabes de la turbina de potencia, son descargados a la atmósfera a través de la chimenea a una temperatura de 1000°F.

Además de todos los equipos y partes mencionados es necesaria la intervención de toda una serie de componentes extras que permita la generación de electricidad.

Debido a las altas presiones, esfuerzos y velocidades es necesario un sistema de lubricación, con el objetivo de disminuir el desgaste que se produce entre las partes que rozan. Cada unidad posee un sistema de aceite lubricante individual, el cual está compuesto por una serie de bombas que mantienen una presión de 125 psig y un caudal de 700 gpm en el sistema.

Sólo una cuarta (1/4) parte de aire que es absorbido por el compresor axial es utilizado para la combustión estequiométrica, otra parte es usado para controlar todas las válvulas de control neumáticas, evitar que el aceite se dirija a partes no deseadas y purgar las líneas de gas, fuel oil #2 cuando la unidad es detenida y la mayor cantidad de aire principalmente es empleado para enfriar las partes calientes de la turbina.

1.2 Planteamiento del Problema

Las turbinas a gas han logrado alta aceptación y popularidad en la generación de potencia, debido a su fácil instalación, alta producción y tamaño compacto. Las mejoras en los materiales de las secciones calientes de la turbina, la implementación de tecnologías de enfriamiento y la aerodinámica, han permitido el incremento de la temperatura de combustión. Por consiguiente, se obtiene una eficiencia térmica en el rango de 32 a 42 % en ciclos simples y hasta un 60% en ciclos combinados.

Las turbinas a gas utilizadas en la planta O.A.M. utilizan aire comprimido para el control de muchos de los procesos pertinentes a la generación eléctrica.

Actualmente la producción de aire comprimido es tarea del compresor axial acoplado a la turbina, de un compresor auxiliar dispuesto en el paquete mecánico de cada unidad y de la casa de compresores Atlas Copco de aire de servicio de planta, para el uso de este último, existe una adaptación en el sistema de aire de instrumentación de cada unidad de generación.

El sistema de aire de instrumentación de la planta O.A.M. en la actualidad es causante de una gran parte de las fallas totales de las unidades. Este sistema generalmente falla debido a la pérdida de presión tanto en filtros como en el mecanismo encargado de secar el aire.

Aunque la unidad no se encuentre generando electricidad el sistema de aire de instrumentación si debe estar operativo, para ello se utiliza el compresor auxiliar de cada unidad. Una vez que se arranca una unidad y existe una cantidad de aire con propiedades adecuadas, el aire para la instrumentación es tomado del compresor axial. En el caso de que ocurra una falla en el sistema, existe una toma del aire de servicio de planta que apoyará el buen funcionamiento de los sistemas.

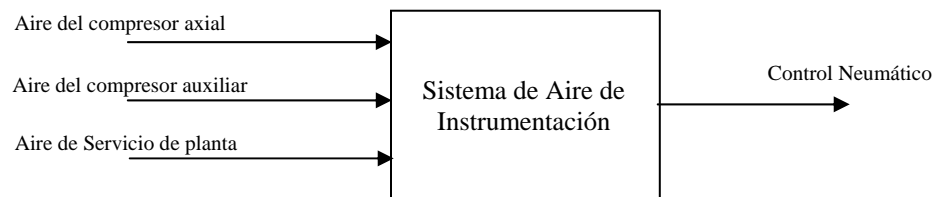


Figura 1. Alimentación del aire de instrumentación
Fuente: El autor

En la actualidad, si ocurriera una falla en el sistema de aire de instrumentación que produzca una gran caída de presión, no existe un mecanismo de respaldo que garantice el suministro de aire de instrumentación a los distintos sistemas que de él dependen. El sistema a diseñar debe suministrar aire comprimido frente a fallas comunes e imprevistas. Según antecedentes suministrados por la empresa, las fallas más comunes del sistema de aire de instrumentación son debidas a fallas de operación del secador de aire, el cual, produce una caída de presión de tal magnitud que hace imposible la distribución del aire presurizado a los diferentes mecanismos.

Mecanismos en los cuales es usado el aire de instrumentación:

- Control de temperatura del aceite lubricante
- Mecanismo de válvulas desaireadoras del compresor
- Movimiento de los álabes guías en la entrada al compresor
- Sello de aire para los cojinetes
- Sistema de purga de combustible
- Aire de atomización para los combustores
- Apertura de válvulas en el sistema de gas
- Aire para enfriamiento de cableado

Diferentes condiciones de operación de una unidad de generación a gas:

Unidad detenida: Durante este estado la unidad no está produciendo energía, sin embargo, el sistema de aire de instrumentación debe estar operativo, debido a que se necesita aire para control de instrumentos de medición que en todo momento deben estar funcionando. Recordemos que una unidad detenida debe estar lista para la generación de energía eléctrica.

Arranque de la unidad: durante esta condición el aire de instrumentación es indispensable para un arranque exitoso. Si ocurriera una caída en la presión del aire de control neumático, la unidad se detendría inmediatamente y esto ocurriría principalmente porque el aire de control es utilizado para mantener las válvulas del sistema de combustible abiertas. Si no hay paso de gas, cesa la combustión y por ende se detiene la unidad. Se puede decir que en parte esta es una medida de protección, porque si a falta de aire de instrumentación continúa la combustión, entonces pudieran ocurrir daños severos a la unidad relacionados con la falta de aire para sello de los cojinetes, aire para enfriamiento de cableado, enfriamiento del lubricante, válvulas desaireadoras del compresor, entre otros.

Durante generación de energía: durante esta operación se hace indispensable el excelente suministro del aire de instrumentación, debido a que es necesario mantener una estricta vigilancia sobre todas las propiedades del sistema, así como

también, la buena operación de mecanismos tales como: sello de aire para los cojinetes para así evitar la fuga de aceite lubricante y por ende algún daño a las partes rotatorias, válvulas de combustible permanentemente abiertas, aire para enfriamiento de cableado para evitar la fundición de los conductores eléctricos, aire para control de temperatura del aceite lubricante y así evitar daños al eje de la turbina. Si existiera una gran caída de presión en el aire de control neumático la unidad se detendría inmediatamente y la detención de una unidad sin aire de instrumentación pudiera ser altamente perjudicial para la vida útil de las unidades.

Parada de la unidad: esta es la condición de operación que a falta de aire de instrumentación pudiera traer las más graves consecuencias para la vida útil de las unidades. Supongamos que se inicia una secuencia de parada forzada debido a falta de aire de instrumentación, se comenzaría a detener la unidad sin contar con los siguientes mecanismos: señal para la vigilancia de propiedades de los sistemas, aire presurizado para el sello de los cojinetes, aire para control de temperatura del aceite lubricante, aire para el enfriamiento del cableado, aire para purga de combustible que haya quedado en las tuberías, por último y más importante las válvulas desaireadoras del compresor no tendrían oportunidad de abrir. Si estas válvulas permanecen cerradas durante una secuencia de parada el aire confinado dentro del compresor no tendría oportunidad de salir creando unos diferenciales de presión entre cada una de las 19 etapas del compresor que pudieran destruir en primera instancia los álabes del compresor axial, trayendo como consecuencia unos niveles de vibración excesivos que pudieran hacer fallar cualquier otra parte acoplada al compresor, tales como cámara de combustión, generador o la turbina.

Es objetivo de estudio el conocimiento minucioso del sistema de aire de instrumentación para así conocer sus debilidades y poder diseñar un sistema que se adapte a las necesidades y que entre en funcionamiento automáticamente frente a una situación de emergencia, cubriendo las necesidades de aire y evitando daños mayores a las unidades debido a falta de aire comprimido.

Una falla en el aire de instrumentación podría ocasionar pérdidas cuantiosas para la empresa. Debido a esto La Electricidad de Caracas consciente de la necesidad de resguardar el patrimonio tanto físico como humano, ha decidido realizar un estudio donde se evalúen posibilidades de adaptar un sistema de respaldo, así como también, el diseño conceptual y de detalle del mismo. Para en un futuro cercano disminuir los riesgos asociados a una posible falla en el sistema.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar a nivel de ingeniería conceptual un sistema de respaldo del sistema de aire para control neumático, que actúe automáticamente en caso de producirse una falla en el sistema de aire de instrumentación y realizar manuales de instalación, ubicación y mantenimiento del sistema, así como también un análisis de costos de la construcción del mismo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la problemática existente con el sistema de aire de instrumentación.
- Justificar el desarrollo del proyecto de acuerdo a la criticidad del sistema de aire de instrumentación.
- Determinar y establecer las propiedades físicas del aire para las condiciones de operación.
- Calcular y establecer los caudales de aire a manejar por el sistema.
- Diseño conceptual del sistema de respaldo de forma que garantice frente a fallas frecuentes el suministro de aire presurizado a los diferentes sistemas que dependen de él.
- Integración al sistema actual de aire, instrumentos de medición para llevar a cabo una vigilancia más efectiva del nivel de presión.
- Seleccionar los equipos que permitan obtener las condiciones de operación.
- Desarrollo de propuesta de solución a la problemática a nivel de ingeniería conceptual.
- Diseñar y calcular las partes necesarias para el soporte de los equipos.
- Desarrollar manual de instalación y ubicación de todos los equipos que constituyen el sistema así como también los planos de instalación del sistema.
- Diseñar la lógica de control para el sistema de respaldo.
- Especificar los materiales y equipos que formarán parte del sistema.
- Establecer un plan de operación y mantenimiento preventivo del sistema.
- Elaborar los manuales de operación incluyendo plano operativo y mantenimiento preventivo del sistema.
- Realizar el estudio económico de la puesta en marcha del sistema.

1.4 Alcances

Aunque es necesaria una revisión bibliográfica y conocimiento general de los distintos sistemas que interactúan con el aire de instrumentación esta investigación se basará sólo en el sistema de aire de instrumentación y más específicamente en el diseño del sistema de respaldo del aire de instrumentación de las unidades de generación W501D5 de la planta O.A.M. y todo lo que el diseño implique, desde selección de instrumentos hasta diseño de la lógica de control. Es importante hacer notar que el diseño de cualquier sistema debe ir de la mano con un manual de operación y mantenimiento. Es por esta razón que se incluirá en el proyecto un manual de mantenimiento que tomará en cuenta sólo del sistema de aire de instrumentación.

- Lograr un diseño conceptual de un sistema de respaldo que se adapte a las necesidades requeridas por los equipos neumáticos de las unidades.
- Diseñar la estructura que servirá de soporte a los componentes y equipos que sean necesarios para el sistema.
- Adaptación del sistema al espacio físico disponible dentro del gabinete de interruptores de presión de cada unidad de generación.
- Verificar la factibilidad de utilizar los compresores Atlas Copco existentes en la planta para el suministro de aire presurizado al sistema de respaldo y por ende a los equipos de control neumático.
- Diseñar el sistema de control del sistema que permita el seguimiento de propiedades como la presión de aire y además el accionamiento del sistema de forma automática. Seleccionar dispositivos de control que sean sensibles y fáciles de regular.
- Desarrollar manuales de instalación mecánica y eléctrica que permita a través de una contratista de La Electricidad de Caracas el montaje del sistema.
- Lograr un diseño de fácil mantenimiento y operación de manera que permita al personal de una forma sencilla operar el sistema y realizar su respectivo mantenimiento.
- Determinar parámetros de mantenimiento.
- Se usarán catálogos de fabricantes a fin de seleccionar los distintos equipos y materiales necesarios para la construcción de todo el conjunto del sistema.
- Los equipos y materiales seleccionados en el diseño del sistema se limitarán a los existentes en el mercado venezolano y además su búsqueda comenzará por los equipos con los que se cuenta en el almacén de la planta O.A.M.

- Se hará un estudio económico de los distintos equipos y materiales a fin de sugerir un precio del montaje del sistema.
- Elaborar planos y manual de operación que ayudarán al personal a la familiarización con el nuevo sistema adaptado al sistema de aire de instrumentación original.

En forma esquemática el proyecto se puede ver de la siguiente manera

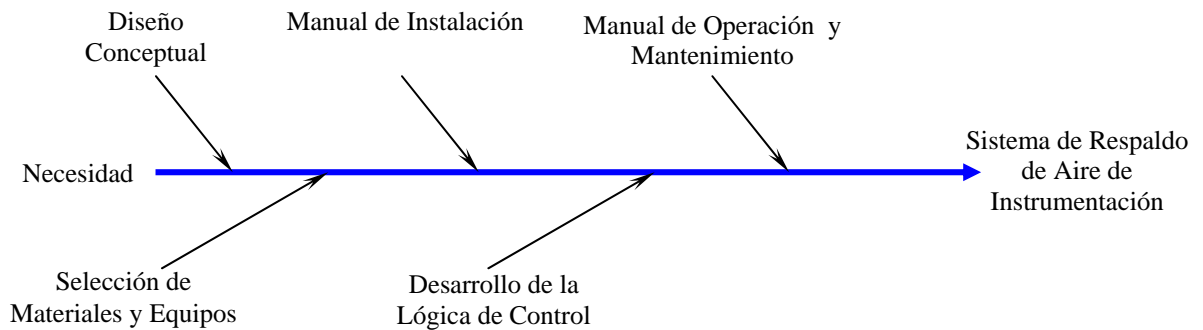


Figura 2. Diagrama de Ishikawa acerca del trabajo de investigación
Fuente: El autor

1.5 Limitaciones

La mayoría de la información del funcionamiento y recomendaciones de operación se encontraba en el idioma inglés.

La información suministrada por los fabricantes y proveedores de los distintos equipos y sistemas, se encontraba de forma dispersa o incompleta.

La búsqueda de catálogos de fabricantes en alguno de los casos no era de fácil alcance.

La selección de los equipos entre una amplia gama de posibilidades de forma que no causará costos adicionales asociados al almacenamiento. La información de los equipos existentes en el almacén no es de fácil acceso.

Muchos de los equipos dentro del gabinete interruptores de presión no eran de fácil acceso para la verificación de sus marcas y modelos.

Capítulo II

Marco Teórico

CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

2.1 Aspectos Relacionados con Turbinas a Gas

2.1.1 Turbinas a Gas

Una turbina es una máquina motriz de flujo continuo, que transforma energía (potencial, cinética, térmica, etc.) del fluido de trabajo en energía mecánica sobre un eje en formas de movimiento de rotación.

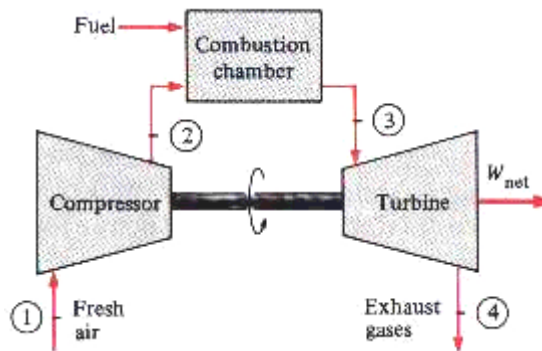


Figura 3. Ciclo Ideal. Turbinas a Gas
Fuente: www.gas-turbines.com

En una simple configuración está constituida por una parte rotatoria provista de álabes sobre los cuales actúa el fluido de trabajo, un distribuidor que tiene como objetivo conducir el fluido hacia los álabes y una tobera que recibe el fluido a la salida de los álabes para enviarlo en una dirección determinada, por ejemplo a otros álabes en turbinas de múltiples etapas.

Según las características dinámicas, las turbinas pueden ser de acción o de reacción, en las de acción el fluido, a elevada velocidad, actúa por choque directo sobre los álabes de rodete. Un ejemplo de estas turbinas son las turbinas hidráulicas Pelton; en las de reacción, el fluido antes de chocar con las paletas móviles, atraviesa las paletas del distribuidor y por efecto de la reacción en dicha transferencia la presión se transforma en un aumento de velocidad del fluido.

Según sean de una o más etapas, las turbinas se les llama simples o múltiples; en este segundo caso pueden ser en serie o en paralelo, según si las etapas son atravesadas por el mismo caudal o es repartido para las siguientes etapas. Otra clasificación es de acuerdo al tipo de fluido que maneja, por lo cual se tienen turbinas a vapor, turbinas a gas o turbinas hidráulicas.

Diferentes modificaciones al ciclo simple de turbinas a gas dan como resultado lo siguiente:

- ✓ Ciclo Regenerativo: Se toma parte de los gases calientes a la salida de la turbina y se utiliza como precalentador del aire que sale del compresor pero antes de entrar a la cámara de combustión.
- ✓ Ciclo con Enfriador de Aire a la Entrada al Compresor: este tipo de modificación se trata de un simple intercambiador de calor que disminuye la temperatura del aire a la entrada al compresor.
- ✓ Ciclo con Recalentador: A la salida de las primeras etapas de la turbina se coloca un intercambiador de calor cuya función es recalentar el aire que entrará a las últimas etapas de la turbina.
- ✓ Ciclo Combinado: Este es uno de los ciclos con el cual se consigue las mayores eficiencias. Su configuración consiste de lo siguiente: los gases de escape provenientes de la expansión en la turbina en vez de ser expulsados al ambiente, se utilizan para el calentamiento de agua dentro de una caldera para así producir vapor para trabajar dentro de un ciclo Rankine.

2.1.2 Ciclo Brayton

El ciclo termodinámico descrito por el fluido de trabajo en las turbinas a gas es el Brayton, idealmente este comprende: una compresión adiabática del aire en el compresor, calentamiento a presión constante en la cámara de combustión, una expansión adiabática en la turbina y una descarga de los gases calientes a presión constante. Es importante señalar que tanto el compresor como la turbina están acoplados a un mismo eje.

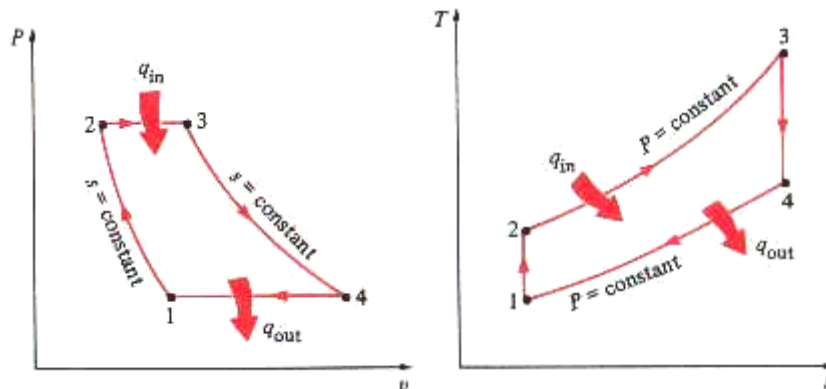


Figura 4: Ciclo Ideal Brayton
Fuente: www.gas-turbines.com

La descarga de los gases puede ser directamente al ambiente (*ciclo abierto*), puede ser recirculado en forma continua al compresor (*ciclo cerrado*) o se puede aprovechar la salida de los gases calientes para la producción de vapor en una central termoeléctrica a vapor (*ciclo combinado*).

El rendimiento térmico del ciclo Brayton puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{(P_2 / P_1)^{(K-1)/K}}$$

Donde:

P_2/P_1 = Relación de compresión

W_{neto} = Trabajo útil disponible

C_p = Calor específico del aire a presión constante

Q_L = Calor rechazado por el sistema

K = Relación de calores específicos

De la ecuación anterior se puede observar la gran influencia que tiene la relación de compresión.

Se puede mencionar lo siguiente:

1. Un incremento en la relación de compresión a una temperatura de combustión dada, se traduce en un incremento del rendimiento térmico del ciclo.
2. La relación de compresión que resulta en máxima potencia específica y máxima eficiencia varía según la temperatura de combustión en la turbina y mientras mayor es la relación de compresión, mayores son los beneficios que se obtienen de un incremento en dicha temperatura.
3. Un aumento en la temperatura de combustión implica un aumento en la potencia que puede generar la turbina pero a cambio de un sacrificio en la eficiencia del ciclo.

2.2 Neumática

La neumática constituye una herramienta muy importante dentro del control automático en la industria. El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos.

El primero del que sabemos con seguridad es que se ocupó de la neumática, es decir, de la utilización del aire comprimido como elemento de trabajo, fue el griego Ktesibios. Hace más de dos mil años, construyó una catapulta de aire comprimido. Uno de los primeros libros acerca del empleo del aire comprimido como energía procede del siglo I de nuestra era, y describe mecanismos accionados por medio de aire caliente.

De los antiguos griegos procede la expresión "Pneuma", que designa la respiración, el viento y, en filosofía, también el alma. Como derivación de la palabra "Pneuma" se obtuvo, entre otras cosas el concepto Neumática que trata los movimientos y procesos del aire.

A pesar de que esta técnica fue rechazada en un inicio, debido en la mayoría de los casos a falta de conocimiento y de formación, fueron ampliándose los diversos sectores de aplicación.

En la actualidad, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el aire comprimido. Este es el motivo de que en los ramos industriales más variados se utilicen equipos neumáticos.

2.2.1 Conceptos Básicos del Aire Comprimido

2.2.1.1 Presión: La Presión se define como la fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie. La presión suele medirse en atmósferas (atm); en el Sistema Internacional de unidades (SI), la presión se expresa en newtons por metro cuadrado; un newton por metro cuadrado es un pascal (Pa). La atmósfera se define como 101.325 Pa, y equivale a 760 mm de mercurio en un barómetro convencional.

En un fluido en equilibrio, la presión en cualquier punto es la misma en todas las direcciones.

2.2.1.2 Caudal: caudal es volumen en movimiento, es decir, la cantidad de fluido que pasa a través de una sección en la unidad de tiempo, medido en volumen. El caudal que circula es igual a la velocidad media de circulación, por la sección de conducto que atraviesa el fluido.

2.2.1.3 Temperatura: físicamente, la temperatura es una indicación de la energía cinética de las moléculas.

Al aumentar el movimiento de las moléculas, la temperatura aumenta. La temperatura no puede ser medida directamente, es por ello que se mide a través de los efectos que ella produce sobre las propiedades de otros materiales.

2.2.1.4 Condiciones Estándar de Temperatura y Presión: Lamentablemente, no existe todavía una definición universal de condiciones estándar, es por ello que los fabricantes de equipos utilizan diferentes valores para los condiciones estándar. Al momento de usar en esta investigación valores estándar de presión y temperatura se mencionará a quien pertenecen.

2.2.1.5 Volumen de Aire Libre Suministrado: se define como el flujo real de aire enviado a través de la toma de descarga del compresor referido a las condiciones de presión y temperatura absoluta que existen en la toma de entrada al compresor. Free Air Delivery F.A.D. es una definición internacionalmente estandarizada de la capacidad del compresor.

2.2.1.6 Humedad Relativa: es la relación que existe entre el vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire (1 m^3) y la cantidad máxima que es capaz de contener a la misma temperatura.

La cantidad máxima de agua que puede retener en forma de vapor, un determinado volumen de aire, depende solamente de la temperatura. La temperatura en este punto máximo recibe el nombre de “Punto de Rocío”

2.2.1.7 Punto de Rocío: Es la temperatura a la cual, un determinado volumen de aire se encuentra saturado de humedad (vapor de agua). Si a partir de ese valor de la temperatura, esta desciende, se produce el fenómeno de condensación.

Punto de rocío atmosférico: es la temperatura a la cual, el vapor de agua comienza a condensar a la presión atmosférica.

Punto de rocío a presión: es la presión a la cual, el vapor de agua comienza a condensar a una presión dada. El punto de rocío a presión difiere del atmosférico, debido a que el vapor de agua por m^3 de aire atmosférico, está confinado en un volumen más pequeño cuando se comprime.

2.2.2 Propiedades del Aire Comprimido

- ✓ Está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.
- ✓ El aire comprimido puede ser fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. No es necesario disponer tuberías de retorno.
- ✓ No es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio. El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Además, se puede transportar en recipientes.
- ✓ El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura, garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
- ✓ El aire comprimido es limpio y, en caso de faltas de estanqueidad en elementos, no produce ningún ensuciamiento. Esto es muy importante por ejemplo, en las industrias alimenticias, de la madera, textiles y del cuero.
- ✓ Es un medio de trabajo muy rápido y, por eso, permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas. (La velocidad de trabajo de cilindros neumáticos pueden regularse sin escalones).
- ✓ El aire comprimido debe ser preparado, antes de su utilización. Es preciso eliminar impurezas y humedad (al objeto de evitar un desgaste prematuro de los componentes).
- ✓ Con aire comprimido no es posible obtener para los émbolos velocidades uniformes y constantes.
- ✓ El escape de aire produce ruido. No obstante, este problema ya se ha resuelto en gran parte, gracias al desarrollo de materiales insonorizantes.

2.3 Descripción de los Equipos Turbogeneradores de la Planta O.A.M.

En la actualidad existen 5 unidades turbogeneradoras en la Planta O.A.M. modelo W501D5 Econopac, marca Westinghouse; 4 de ellas adquiridas en el año 1994 las cuales tienen una numeración del 9 al 12, la otra unidad es adquirida en el año 2000 y se designa por la unidad número 13. Existen diferencias fundamentales entre las unidades 9-12 en comparación a la unidad 13 como por ejemplo se puede citar:

1. Las unidades 9-12 pueden trabajar tanto con gas natural como con fuel oil, mientras que la 13 sólo trabaja con gas natural.
2. La unidad 13 está equipada con quemadores Dry Low Nox, especialmente diseñados para reducir las emisiones a la atmósfera. Las unidades 9-12 no cuentan con este sistema.

3. Existen diferencias adicionales pero para simplificación se hará referencia de forma general a las características de las unidades de generación.

Este tipo de unidades de generación eléctrica son construidas por paquetes o sistemas preensamblados hasta los límites máximos de transporte. Una vez instaladas estas unidades son capaces de generar 104,4 MW, mientras se mantenga una tasa calorífica de 10857 KJ/KWh (10290 BTU/KWh) y una eficiencia neta de 33,2% si trabaja con gas natural a una velocidad de 3600 rpm en condiciones ISO (15°C. 1 Atm y 60% humedad relativa).

De forma general estas unidades constan de lo siguiente:

- Turbocompresor (Compresor, cámara de combustión, turbina)
- Generador / Excitador
- Paquete de Arranque (Motor eléctrico)
- Sistema de Admisión (Filtro de aire, paletas directrices)
- Sistema de Combustible
- Sistema de Combustión
- Sistema de Aire
- Sistema de Lubricación
- Sistema de Escape (Cono de escape, chimenea)
- Paquete Eléctrico
- Paquete Mecánico
- Paquete de Tuberías

2.3.1 Turbocompresor

Está formado por tres elementos principales: compresor axial, cámara de combustión y turbina.

El compresor axial consta de 19 etapas, capaz de suplir 791 lb/seg de aire con una relación de compresión 14:1. La combustión tiene lugar dentro de catorce combustores dispuestos de forma circunferencial alrededor del eje de rotación de la máquina. El combustible es inyectado en los cestos combustores y es mezclado con el aire proveniente del compresor para luego transformar la energía del combustible en energía mecánica sobre el eje. El cesto combustor está diseñado para producir turbulencia y así garantizar mezcla homogénea de aire-combustible.

La ignición de la mezcla es efectuada con dos electrodos retráctiles además se usa un propagador de llama que provee la conexión entre todos los cestos adyacentes

asegurando el encendido en todas las cámaras de combustión. También poseen dos detectores ultra violeta que confirman el encendido en el arranque.

Para garantizar una combustión lo más completa posible se requiere exceso de aire el cual también enfría la cámara de combustión y luego es mezclado con los productos de combustión disminuyendo la temperatura del gas a la entrada de la primera etapa de la turbina. Para mantener niveles de temperatura aceptables tanto en la cámara de combustión como en las distintas etapas de la turbina es utilizado aire de enfriamiento.

El conjunto turbogenerador está capacitado para usar combustible tipo: gas natural y gasoil.

2.3.2 Generador / Excitador

El generador tiene la tarea de convertir toda la potencia disponible en el eje en energía eléctrica, mientras que la función del excitador es proveer un campo de excitación al rotor del generador.

El rotor del generador es un gran electroimán, con dos polos magnéticos. Al circuito de campo del rotor se le suministra corriente continua por medio de una fuente adicional llamada excitatriz, montado directamente sobre el eje del generador. La excitatriz es un pequeño generador de corriente alterna, con su circuito de campo montado en el estator y con la armadura montada sobre el eje del rotor. La excitatriz proporciona el campo de excitación del rotor del generador, para permitir que este actúe como un electroimán con intensidad de campo variable.

El generador está diseñado para operaciones del tipo continuas o intermitentes, un pico de potencia de 5% superior a la que la turbina puede producir en condiciones ambientales entre 10°F, 80% de humedad hasta 105°F, 20% de humedad y un factor de potencia entre 0,9 y 0,95. El generador y el excitador están equipados con un sistema de lubricación por aceite y un sistema de enfriamiento por aire.

2.3.3 Paquete de Arranque

El paquete de arranque comprende el motor eléctrico de arranque, el convertidor de torque y el *turning gear*. El tiempo de arranque concerniente es de

aproximadamente de 90 segundos de aceleración hasta la velocidad de ignición después de este momento la aceleración del turbocompresor continua con la ayuda del motor de arranque hasta que se alcance 2304 rpm.

El turning gear es un mecanismo que permite la rotación lenta de la turbina, previa a su arranque o inmediatamente después de su detención.

El módulo de arranque proporciona al torque necesario para acelerar la turbina de combustión, por medio de un mecanismo de engranajes que se desacopla del eje del generador, cuando la unidad es capaz de mantener su aceleración.

2.3.4 Sistema de Admisión de Aire

La función del sistema de admisión es proveer cantidades adecuadas de aire limpio a la turbina de gas. La selección del equipo adecuado de limpieza de aire puede minimizar efectivamente la contaminación, la erosión y la corrosión causada por las partículas en suspensión en el aire y puede evitar la pérdida de potencia de la unidad.

Este sistema es capaz de descargar 6000000 lb/hr (2721554 Kg/hr) de aire laminar a la entrada del compresor y comprende sistema de filtros, silenciadores y paletas directrices que conducen aire aspirado del medio ambiente.

El prefiltro y el filtro final remueven las finas partículas presentes en el aire y un panel acústico formado por placas paralelas actúa como silenciador.

2.3.5 Sistema de Combustión

Este sistema incluye:

- ✓ Cámara de combustión
- ✓ Cestos combustores
- ✓ Tubos cruzallamas
- ✓ Piezas de transición
- ✓ Toberas de combustible
- ✓ Bujías de encendido
- ✓ Detectores de llamas

La combustión que suministra energía a la turbina, tiene lugar en un sistema que consta de 14 combustores colocados circunferencialmente alrededor del eje de la máquina. Cada combustor consta, a su vez, de un combustor tipo cesta cilíndrica y una pieza de transición unida por una abrazadera cilíndrica. Están fabricados con láminas de aleación de níquel con base de cromo laminadas en frío, un material caracterizado por sus altas resistencias a esfuerzos ante los efectos de la alta temperatura. Cada cesto combustor está anclado en su extremo aguas arriba, a la pared de la caja exterior.

El combustible pasa a través de los cestos combustores a través de una boquilla ubicada en el extremo aguas arriba de cada cesto. Se mezcla con el aire comprimido que fluye a través de los orificios de aire de los cestos. Estos están perforados y diseñados para inducir una mezcla turbulenta del combustible y el aire.

Los tubos cruza llama son los que establecen la conexión con los cestos combustores adyacente, puesto que en los cestos 5 y 6 hay encendedores de bujía para encender la mezcla durante el ciclo de arranque.

En los cestos 12 y 13 se emplean sensores ultravioleta para confirmar el encendido durante el arranque. El gas caliente fluye a través de las piezas de transición, hasta la turbina. Los sellos superior e inferior de las salidas de las piezas de transición tienen aberturas para que el aire del compresor pase a través de ellas enfriando así un poco la primera corona de álabes estacionarios de la turbina.

2.3.6 Sistema de Combustible

El sistema dual de suministro de combustible está diseñado para trabajar con el gas natural o aceite destilado #2 (fuel oil), los cuales deben estar dentro de las especificaciones del fabricante.

El sistema ofrece al operador la posibilidad de cambiar de velocidad o carga de la unidad, variando el flujo neto de combustible que entra a la turbina, a través de dos pulsadores de aumento o disminución de carga/velocidad ubicados en el panel local y en la sala de control.

2.3.6.1 Sistema de Combustible Líquido: la función del sistema de combustible líquido es transportar el fuel oil hasta la turbina de combustión, libre de impurezas y con la presión requerida. El combustible se almacena en un tanque cuya capacidad máxima de 5000 m^3 ($5 \cdot 10^6$ litros), el combustible sólo ocupa 3500 m^3 ($3,4 \cdot 10^6$ litros) del volumen del tanque, de donde es conducido por gravedad, a través de tuberías, hasta los filtros, entrando posteriormente en la bomba principal de gasoil

ubicada en el paquete mecánico. Una parte de la descarga de la bomba pasa a través de un by pass por una válvula reguladora de presión y regresa a la succión de la bomba. El resto del combustible, regulado por las válvulas de estrangulamiento y de arranque, pasa por la válvula de disparo por sobrevelocidad y la válvula de sellado, el divisor de flujo y por los quemadores ubicados en el interior de la turbina de combustión.

2.3.6.2 Sistema de Combustible Gaseoso: el sistema de combustible gaseoso está diseñado para operar con gas natural, el cual es suministrado desde la estación reguladora hasta el sistema de control de gas ubicado en el compartimiento de la turbina.

El suministro del gas proviene de la estación reguladora a una presión de (400 psig), es monitoreado por un grupo de transductores que envían señales de presión, temperatura y caudal a las computadoras del panel de control y a la sala de control. El combustible antes de ser regulado por la válvula estranguladora principal o por la estranguladora de arranque, según la condición de operación, es obligado a circular a través de un filtro y una válvula de disparo por sobrevelocidad para, finalmente, dirigirse a la válvula de aislamiento y al múltiple de gas de la turbina.

2.3.7 Sistema de Lubricación

La función del sistema de lubricación es suministrar aceite a la presión y temperatura requerida, de acuerdo con las necesidades de lubricación del conjunto turbogenerador (motor de arranque, generador y turbina de combustión). Además, este sistema es usado para enfriar el soporte flexible de la turbina, presurizar el dispositivo mecánico de disparo por sobrevelocidad y prever aceite utilizado por el convertidor de torque que está en el módulo de arranque.

La mayor parte de los componentes del sistema de lubricación se encuentran en el módulo mecánico: bombas, tanque y filtros hasta válvulas y acumuladores; la otra parte está ubicada en el techo del paquete mecánico: extractores de vapor y enfriadores de aire. (en las unidades 9 a la 12).

El aceite lubricante es almacenado en un tanque provisto de una resistencia eléctrica sumergida, que se encarga de evitar que la temperatura del aceite descienda por debajo de lo permisible, cuando la turbina se encuentra fuera de funcionamiento. Por el contrario, durante la operación de la turbina, la temperatura del aceite se mantiene dentro de los límites requeridos por medio de dos enfriadores (aceite-aceite), que controlan la temperatura del aceite a través de una válvula termostática.

El aceite filtrado y a temperaturas adecuadas es suministrado a los cojinetes de la turbina, el generador, el módulo de arranque y a los componentes que lo requieran, a través de una de las bombas redundantes conducidas por motores de corriente alterna. Un descenso en la presión de descarga de la bomba arrancará automáticamente la bomba de respaldo AC para mantener la presión del aceite en el sistema y permitir que la unidad continúe operando. Si la presión cae a un valor determinado, aparecerá una alarma en el sistema de control y una bomba de emergencia, accionada por un motor de corriente continua, bombeará aceite directamente hacia los cojinetes sin pasar por los filtros.

El reservorio de aceite está conectado por su parte superior, donde se encuentra vapor, a las carcazas de los cojinetes con el fin de que el vacío parcial producido en el tanque, por medio de un extractor de vapor, evite la fuga de aceite de los cojinetes a lo largo del eje. El sistema de extracción de vapor consta de dos sopladores redundantes conducidos por motores AC los cuales succionan vapor del tanque mediante un arreglo de tuberías y válvulas de retención; además cada soplador está provisto de un deshumidificador cuya función es eliminar las partículas líquidas del vapor antes de ser descargado a la atmósfera.

El generador está provisto de un sistema de suspensión que se activa siempre que la turbina se coloca en rotación lenta. Este sistema consta de dos bombas que se encargan de presurizar el aceite proveniente de la línea de suministro a los cojinetes, para el levantamiento de eje del generador, garantizando así una adecuada película de aceite mientras gira a una baja revolución.

2.3.8 Sistema de Escape

Consiste en un cono de escape y la junta de expansión. El cono de escape es una extensión del difusor de escape, el cual disminuye la turbulencia del flujo. Este cono de escape se une a la chimenea mediante la junta de expansión la cual es de un material flexible y resistente a altas temperaturas, su función es adecuar la dilatación axial de la unidad debido a la expansión térmica.

Además el sistema de escape consta silenciadores. Estos sistemas se diseñan para expulsar los gases verticalmente, directamente encima de la turbina de gas u horizontalmente por medio de un codo. En ambos casos los gases de escape se descargan de la turbina verticalmente. La descarga vertical proporciona los beneficios de la directividad que contribuye significativamente a la reducción del ruido. Se logra una mayor reducción con un silenciador de escape.

2.3.9 Paquete Eléctrico

En este paquete están contenidos la instrumentación necesaria para la secuencia, control, y monitoreo de los componentes de la unidad de generación. Este paquete está dividido en dos partes: centro de control de la unidad y el paquete de transformadores de potencia que monitorea el generador y el sistema de seguridad.

2.3.10 Paquete Mecánico

Este encierra el sistema de lubricación y su correspondiente reservorio de aceite para el turbogenerador y el generador además contiene compresor auxiliar, tanques de almacenamiento de aire y todos los accesorios del sistema de aire de instrumentación.

2.3.11 Paquete de Tuberías

Tuberías que proporcionan todas las conexiones entre los sistemas antes mencionados y la unidad turbogeneradora. En él se encuentran los ductos del sistema de lubricación por aceite, del sistema de enfriamiento del rotor, del sistema de aire de instrumentación, del sistema de aire de atomización, etc.

2.4 Sistema de Aire de la Unidad Turbogeneradora

Este sistema de aire tiene como funciones:

- Proveer aire filtrado al compresor a través de un sistema de filtros.
- Proveer una cantidad de aire adecuada.
- Refrigerar a la sección más caliente de la turbina usando aire de descarga del compresor.
- Proveer aire de purga para las boquillas de los quemadores
- Proveer aire de sello para los cojinetes del compresor mediante el aire enfriado en la descarga del compresor
- Proveer aire de instrumentación a todos lo equipos neumáticos de la unidad.
- Proveer aire frío al ducto de descarga de la turbina.

Entonces de forma general la función del aire comprimido es: mezclarse con el combustible para que se efectúe la combustión, refrigeración de las distintas etapas

de la turbina y para aire de instrumentación que controla todas las válvulas y procesos neumáticos requeridos en todo el proceso de generación.

2.4.1 Requerimientos de Seguridad

La extracción del aire para el sistema de aire comprimido es realizada de diferentes etapas del compresor, en particular el aire de instrumentación es extraído hacia el final de las etapas del compresor entonces debe tenerse precaución debido a las altas temperaturas y presiones del aire.

2.4.2 Descripción de Operación

Bajo condiciones normales de operación, el aire caliente comprimido es enfriado en el *Cooling Air Cooler* (ver figura), para luego ser utilizado como aire de instrumentación y para refrigeración de la turbina.

El rotor del *Air Cooling* es capaz de realizar un intercambio de calor aire - aire que hace descender la temperatura de 760°F aproximadamente a 480°F. Este consiste de un ventilador que varía su velocidad a través de un regulador de frecuencia (VFD) para así mantener una temperatura constante alrededor de 480°F.

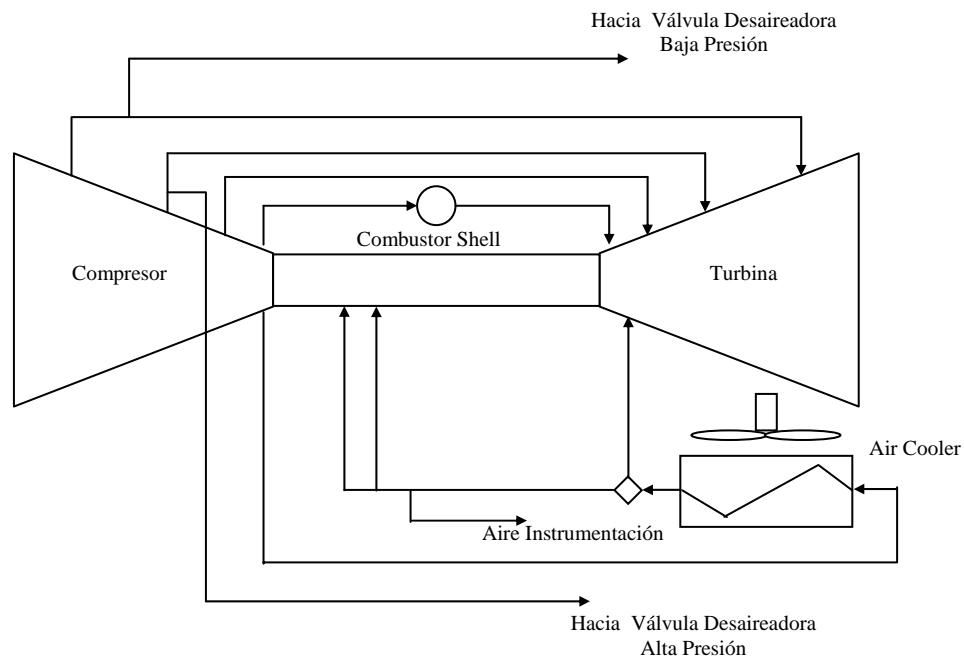


Figura 5. Sistema de Aire
Fuente: El Autor

2.5 Sistema de Aire de Instrumentación (Actual)

El aire de instrumentación como ya se mencionó proviene de la descarga del compresor, luego pasa por un intercambiador de calor llamado *Air Cooler*, el aire a la salida de este dispositivo posee una temperatura de 480°F y por una tubería de 14 in de ésta se realiza una toma a través de una tubería de 1/2 in el cual está provista de un intercambiador de calor tipo aletas, para así disminuir la temperatura a 100°F.

En la figura 6 se puede observar un esquema simple del sistema de aire de instrumentación.

El aire proveniente del *Air Cooling* entra a un filtro F2, luego pasa por un regulador de presión y una válvula de retención en este punto se anexa una tubería que proviene del compresor auxiliar de la unidad de generación. A la salida de este compresor se encuentra un tanque de reserva de aire presurizado y además se cuenta con un tanque auxiliar. A la salida del tanque se encuentra un filtro F1, luego un regulador de presión y una válvula de retención. Al unirse con la primera tubería mencionada pasa a través de un filtro F3, después un secador de aire a la salida de éste un indicador de humedad, un filtro F4, un indicador de presión y un interruptor de presión. Hasta este punto queda descrito el sistema original, actualmente y en busca de mejoras al sistema se conectó una tubería proveniente de una estación de compresores para servicios de planta. Esta conexión se realizó antes del filtro 3. Ver figura.

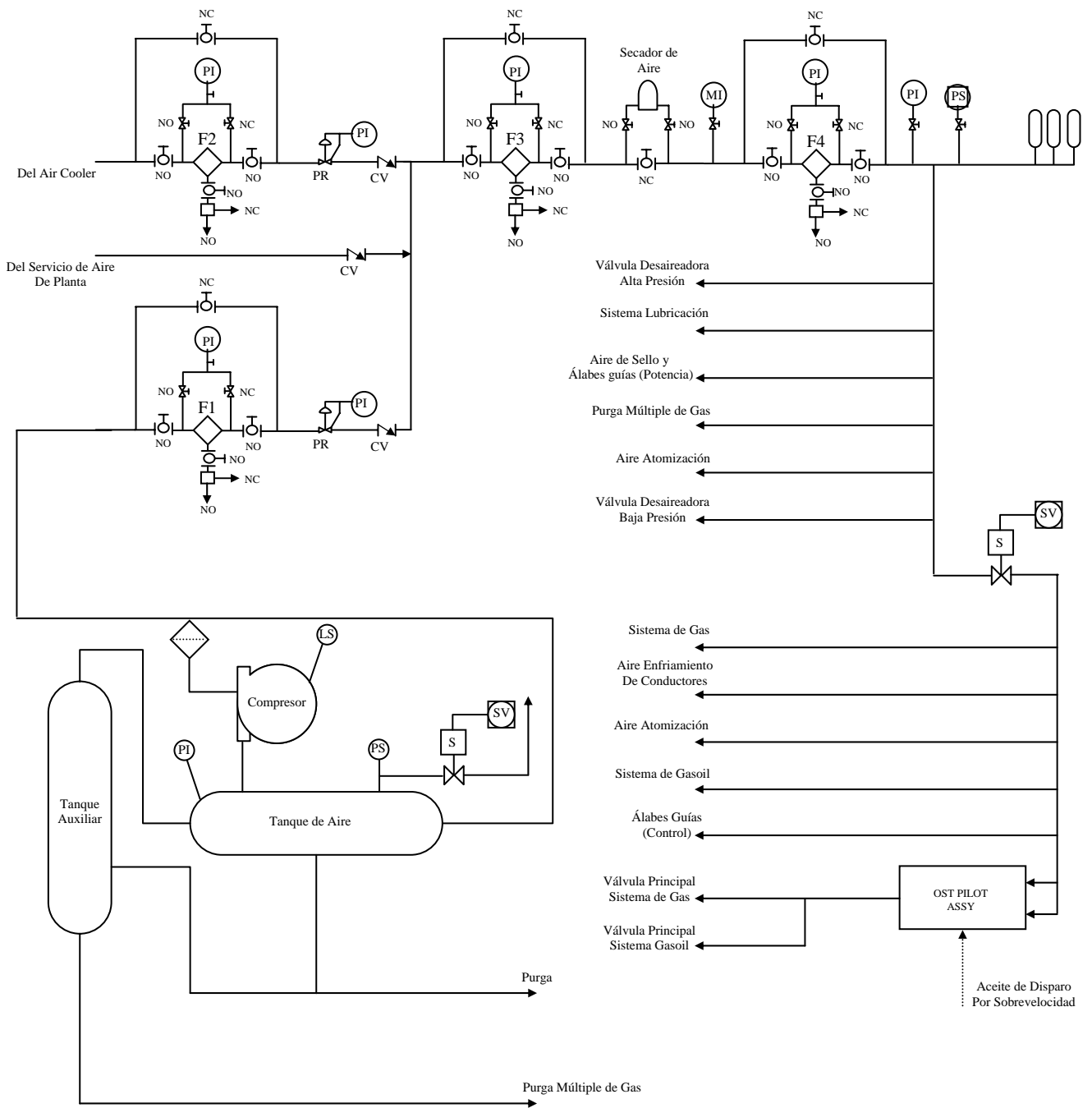


Figura 6: Sistema de Aire de Instrumentación Actual
Fuente: El Autor

2.6 Componentes del Sistema de Aire de Instrumentación

2.6.1 Filtros

El aire comprimido pasa por cada uno de los filtros dispuestos a lo largo del sistema, la función de éstos es disminuir partículas que pueden venir contenidas en el aire, en la tubería de entrada de cada filtro están conectadas dos tuberías, de las cuales una sirve como tubería *by-pass* (en caso de obstrucción o mantenimiento de los filtros) y otra tubería que alimenta a un manómetro (PIXXXXX). Cada filtro cuenta con un sistema de drenaje para ir eliminando lo filtrado. Ver figura.

2.6.2 Válvula Reguladora de Presión (PRXXXXX)

Son válvulas que se controlan manualmente en campo y su función es simplemente regular la presión del aire. A cada válvula reguladora hay asociado un manómetro para así leer directamente el valor de la presión a la salida de la válvula. Véase figura.

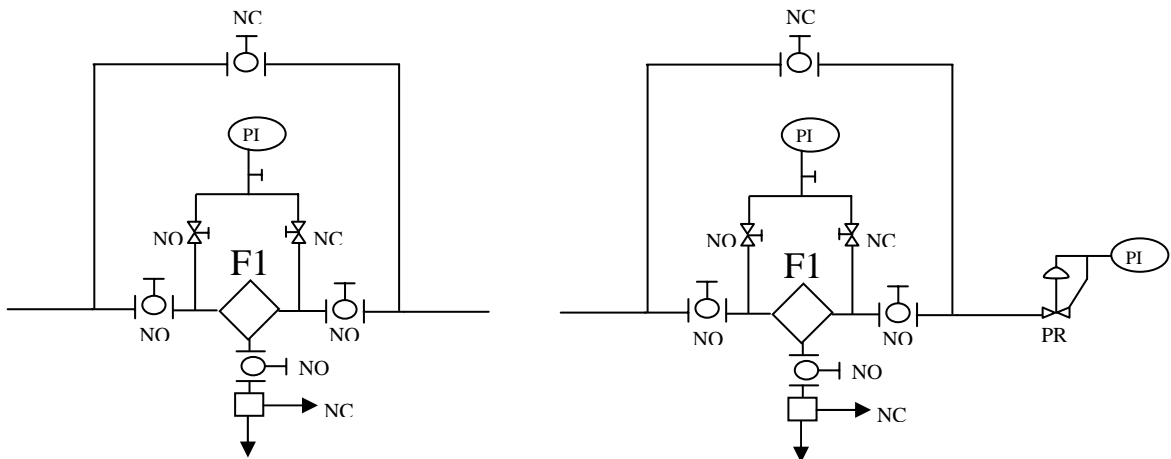


Figura 7: Esquema de filtros de Aire y Reguladora de Presión
Fuente: El Autor

2.6.3 Válvulas de Retención (CV)

Estas son válvulas que permiten el paso de fluido aguas abajo pero no así el flujo aguas arriba. Se utilizan para prevenir el retorno del aire a zonas con niveles de presión menores. Ver figura.

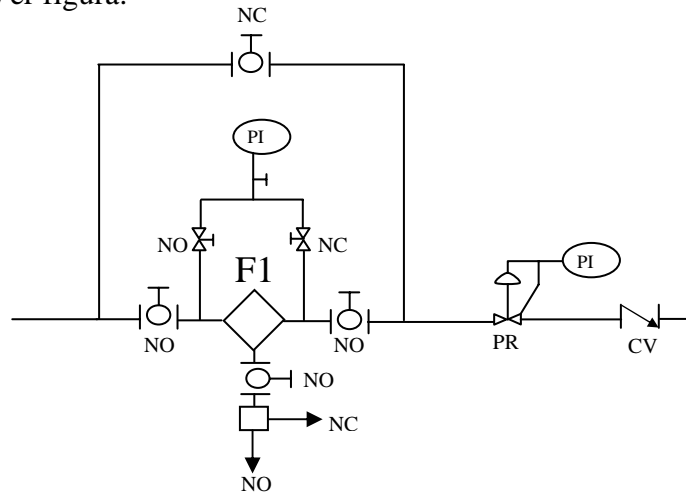


Figura 8: Válvula de Retención
Fuente: El Autor

2.6.4 Secador de Aire

Este mecanismo consta de dos recipientes en donde se encuentra una resina encargada de secar el aire a presión. Mientras en un recipiente se está secando el aire en el otro la resina se regenera a través del paso de aire en pocas cantidades. Pasado un periodo de tiempo el recipiente que estaba secando el aire comienza a regenerar resina mientras el otro se encarga de secar el aire.

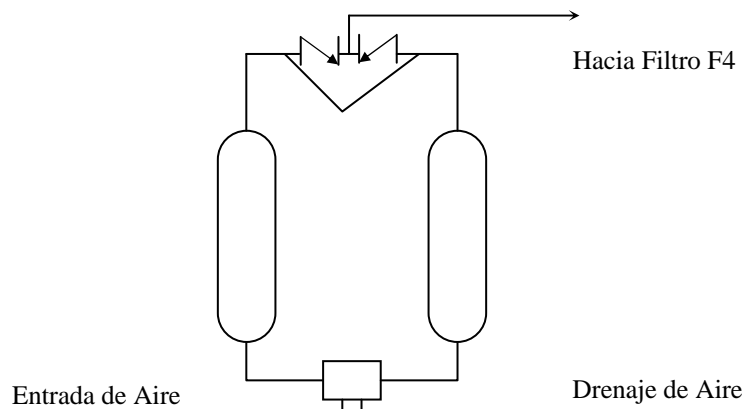


Figura 9: Esquema Secador de Aire
Fuente: El Autor

2.6.5 Interruptor de Presión (PS)

Es un dispositivo que vigila la presión de aire y activa una alarma en el sistema de control cuando la presión es inferior a un valor preestablecido y se elimina la alarma cuando supera a otro valor igualmente calibrado en el interruptor. Existen interruptores de presión que no activan alarma sólo ejecutan una acción por si solos, por ejemplo prender o apagar el motor de un compresor.

2.6.6 Compresor Auxiliar de Aire de Instrumentación

Está localizado en el paquete mecánico y es una alternativa para proveer aire comprimido al sistema de aire de instrumentación cuando el aire de la descarga del compresor no está disponible o es insuficiente. Este es un compresor accionado por un motor eléctrico de corriente alterna.

2.6.7 Tanque Auxiliar de Aire

Existe el tanque principal de compresor auxiliar y un tanque adicional de reserva.

Son reservorios adicionales de aire comprimido que se usan en los períodos de alta demanda. Cada tanque cuenta con su purga y además el tanque principal cuenta con un venteo accionado por una válvula solenoide que se activa cada cierto tiempo.

2.7 Sistemas o Mecanismos donde es Utilizado el Aire de Instrumentación

- Sistema de lubricación de aceite
- Mecanismo de válvulas desaireadoras del compresor
- Mecanismo de regulación de entrada de aire al compresor
- Sello de aire para los cojinetes
- Sistema de purga de combustible
- Aire de atomización para los combustores
- Sistema de gas. Apertura de válvulas
- Enfriamiento del cableado

2.7.1 Sistema de Lubricación de Aceite

El aire de instrumentación es usado en el sistema de lubricación para controlar la temperatura del aceite. Esto se realiza a través *Modulador de Temperatura* (TM). Este modulador recibe una señal eléctrica que va a depender de la temperatura del lubricante aguas arriba, el modulador transforma esa señal en presión a través de una válvula reguladora. Ese nivel de presión de aire actúa sobre la válvula de aceite dejando fluir mayor o menor cantidad de aceite "caliente".

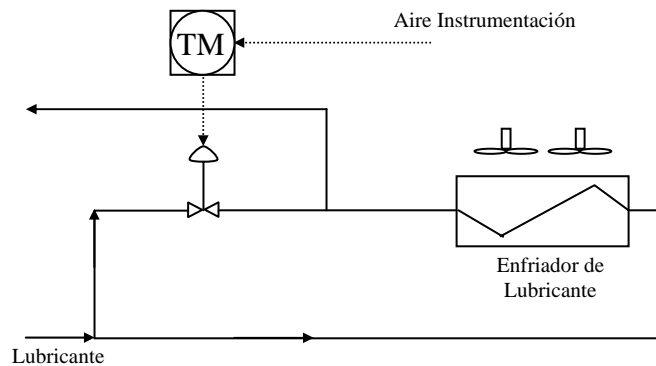


Figura 10: Control de temperatura del aceite usando aire de instrumentación
Fuente: El Autor

2.7.2 Mecanismo de Válvulas Desaireadoras del Compresor

Las válvulas desaireadoras extraen aire desde la sexta y undécima etapa de compresión. El compresor debe arrancar y parar con las válvulas desaireadoras abiertas para evitar diferencias grandes de presión dentro de este.

Las válvulas desaireadoras del compresor son accionadas mediante un mecanismo neumático que utiliza aire de instrumentación. Existen dos válvulas en cada unidad, una de alta presión y otra de baja presión, ambas válvulas actúan bajo el mismo principio. El aire proveniente del sistema de aire de instrumentación llega a una válvula solenoide que es energizada según una secuencia lógica dependiendo del rpm de la máquina. Cuando abre la válvula solenoide deja pasar el aire a través de la tubería hasta un pistón acoplado a una válvula mariposa que abre o cierra el paso del aire proveniente del compresor hacia la chimenea.

Este mecanismo actúa en conjunto con el mecanismo de álabes guías controlando la presión y el flujo en el compresor aumentando así el margen de vida del compresor y previniendo atascamiento.

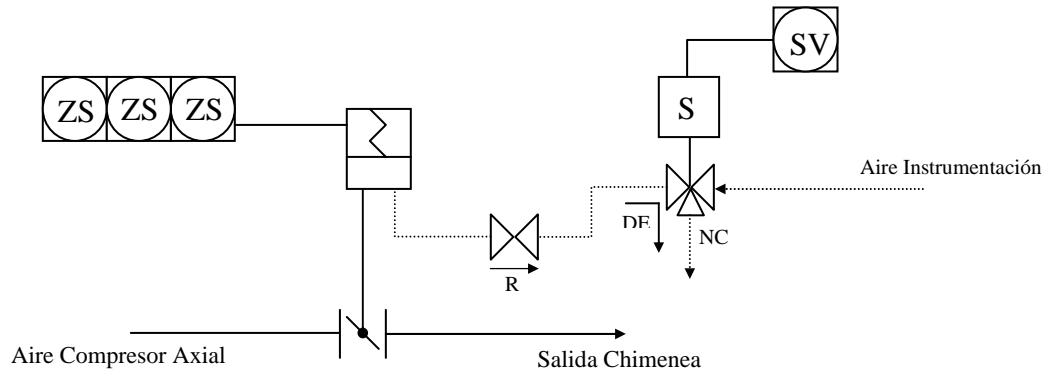


Figura 11: Esquema de funcionamiento de válvulas desaireadoras
Fuente: El Autor

2.7.3 Mecanismo de Regulación de Entrada de Aire al Compresor

En la entrada al compresor están dispuestos unos álabes guías que cambian de posición utilizando un mecanismo neumático, la posición de los álabes va a depender de la condición de funcionamiento de la unidad; velocidad y carga. Esta requiere que a medida que aumenta la velocidad de la máquina aumente también la cantidad de aire que entra al compresor para ello se mueven los álabes guías y si disminuye la velocidad de la máquina se requiere disminuya la cantidad de aire que entra al compresor.

Este sistema funciona con aire de instrumentación para lo cual se utilizan dos tomas del mismo, una de ellas realiza el control sobre el mecanismo mientras la otra ejerce la acción sobre el pistón que a su vez moverá los álabes guías.

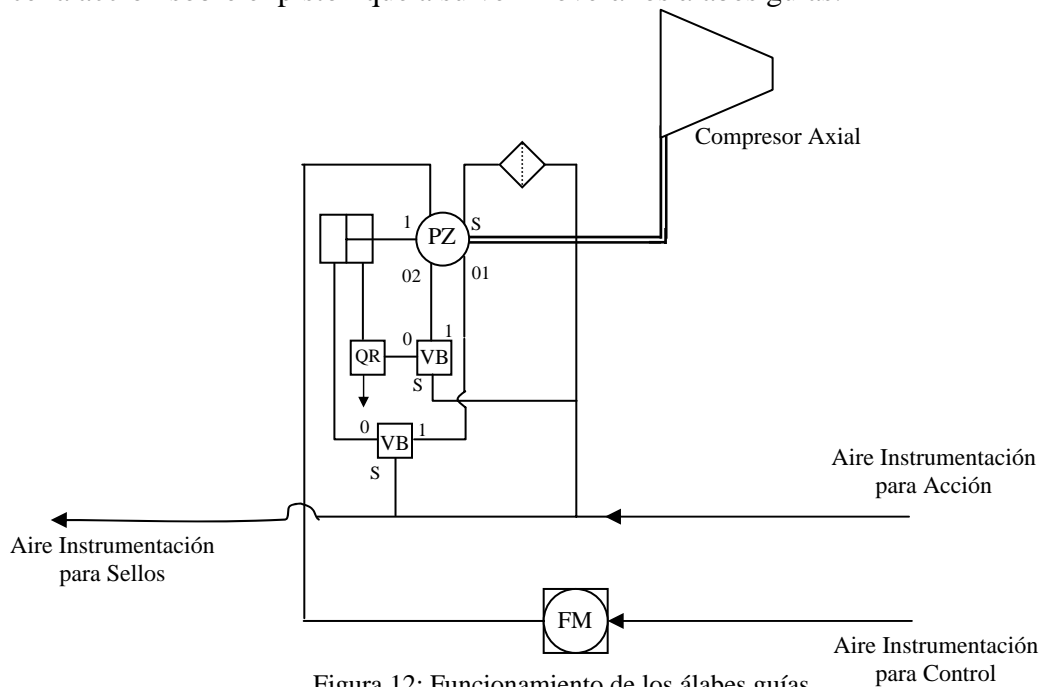


Figura 12: Funcionamiento de los álabes guías
Fuente: El Autor

2.7.4 Sello de Aire para los Cojinetes

El aire de sello proviene de una toma de aire a la salida de *Air Cooling*, pasando luego por una tubería provista de aletas para reducir la temperatura del mismo. El aire es proporcionado continuamente a los cojinetes para impedir, tanto la salida del aceite de lubricación por los sellos, como que este aceite pase al interior de la turbina.

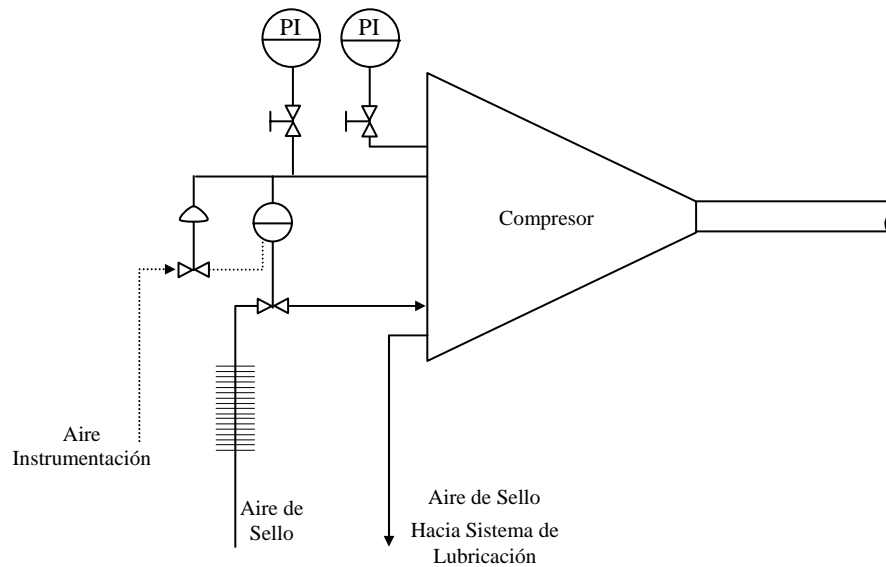


Figura 13: Funcionamiento del mecanismo de sello de aire
Fuente: El Autor

2.7.5 Sistema de Purga de Combustible

El aire de purga se utiliza para remover gases/combustibles desde el múltiple de gas y para proteger el múltiple de aire de atomización, el múltiple de fuel gas y las boquillas durante diferentes modalidades de operación.

Inmediatamente después de la transferencia de combustible de gas natural a fuel oil, aire a alta presión es proporcionado, proveniente del tanque de almacenamiento auxiliar del aire de instrumentación, para así purgar el gas natural por las boquillas.

Durante la operación en fuel oil, aire desde los cestos combustores es proporcionado al múltiple de gas para impedir la recirculación de gases calientes, causando esfuerzos excesivos a las boquillas y al múltiple.

En la parada, aire presurizado es suministrado desde el tanque auxiliar al múltiple de aire de atomización para enfriar y purgar las boquillas. Igualmente este aire es suministrado al múltiple de gas para el mismo fin.

Para la purga del combustible se utiliza aire de instrumentación de la siguiente manera, a través de una toma de aire de instrumentación se llega a una válvula solenoide la cual permite el paso de aire bajo condiciones de parada de la unidad. Al abrir la válvula solenoide éste mueve un pistón que hace abrir una válvula de bola permitiendo entonces el paso de aire de instrumentación proveniente del tanque de almacenamiento auxiliar para así remover los residuos de combustible en el múltiple y las boquillas. Ver figura.

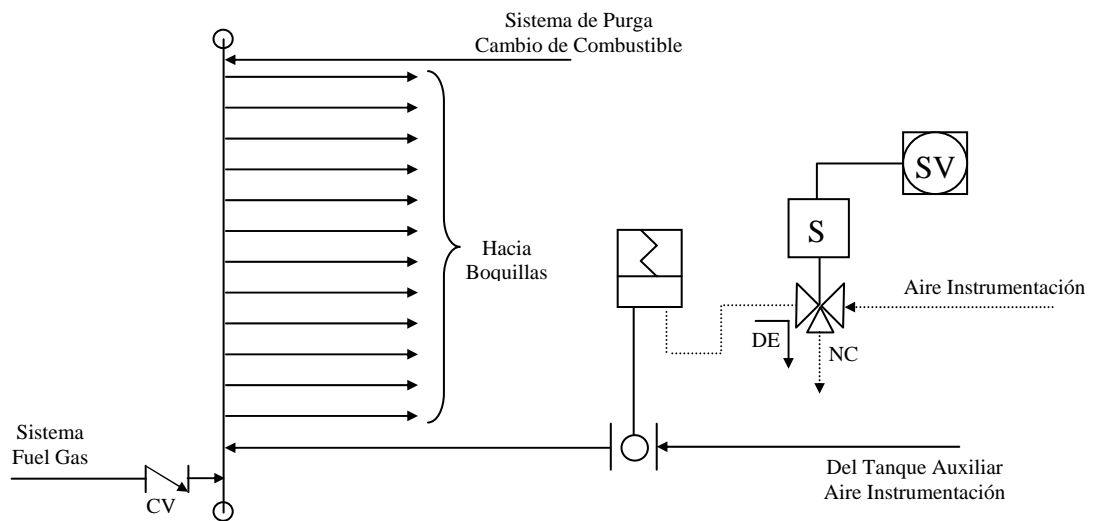


Figura 14: Sistema de purga en caso de cambio de combustible
Fuente: El Autor

El aire de instrumentación también abre las válvulas necesarias para que se pueda realizar purga en caso de cambio de combustible. En la siguiente figura se puede observar la acción del aire de instrumentación en este proceso.

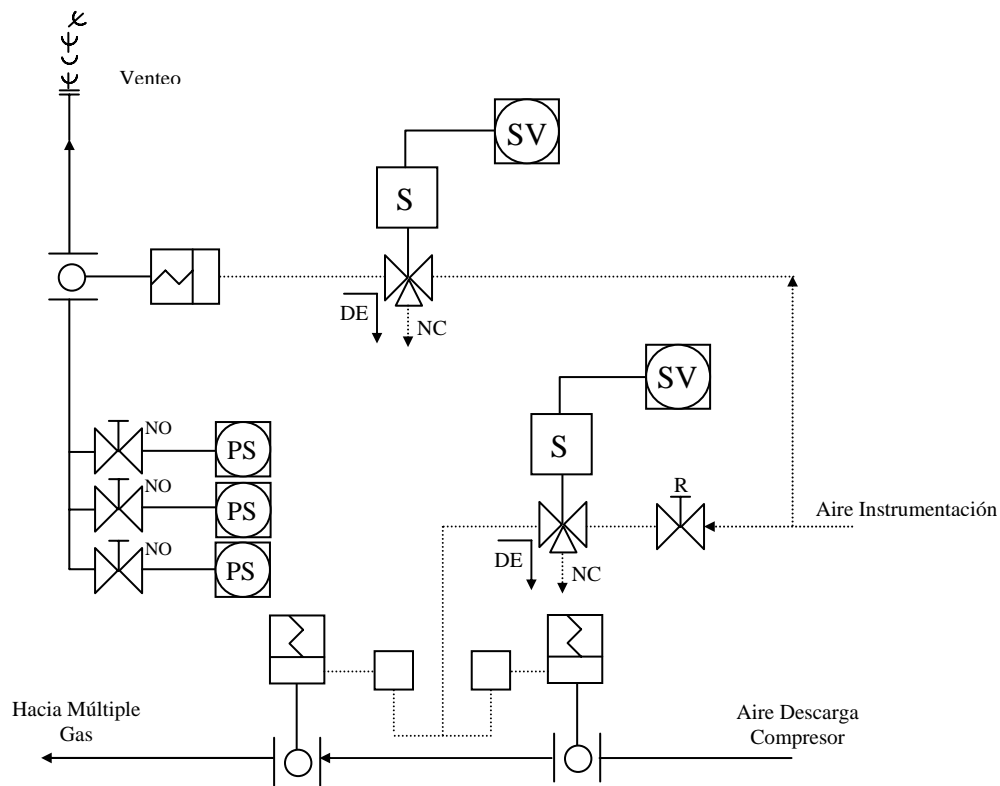


Figura 15: Purga de Gas
Fuente: El Autor

2.7.6 Sistema de Gas. Apertura de Válvulas

Mecanismo OST. Este es un mecanismo de protección de sobrevelocidad. Este mecanismo actúa mediante un dispositivo regulación de velocidad (Mecanismo de Watts). Al aumentar la velocidad de la máquina este dispositivo actúa permitiendo el drenaje de aceite disminuyendo así la presión, lo cual trae como consecuencia que se cierre una válvula evitando el paso de aire de instrumentación que abrirá la válvula mariposa que permite el paso de gas hacia los cestos combustores. Este aire de instrumentación también es utilizado para la apertura una válvula para venteo del gas.

El aire de instrumentación también actúa sobre una válvula de aislamiento y sobre dos válvulas que regulan el flujo del gas. Una de ellas actúa en el arranque de la máquina y la otra en operación normal.

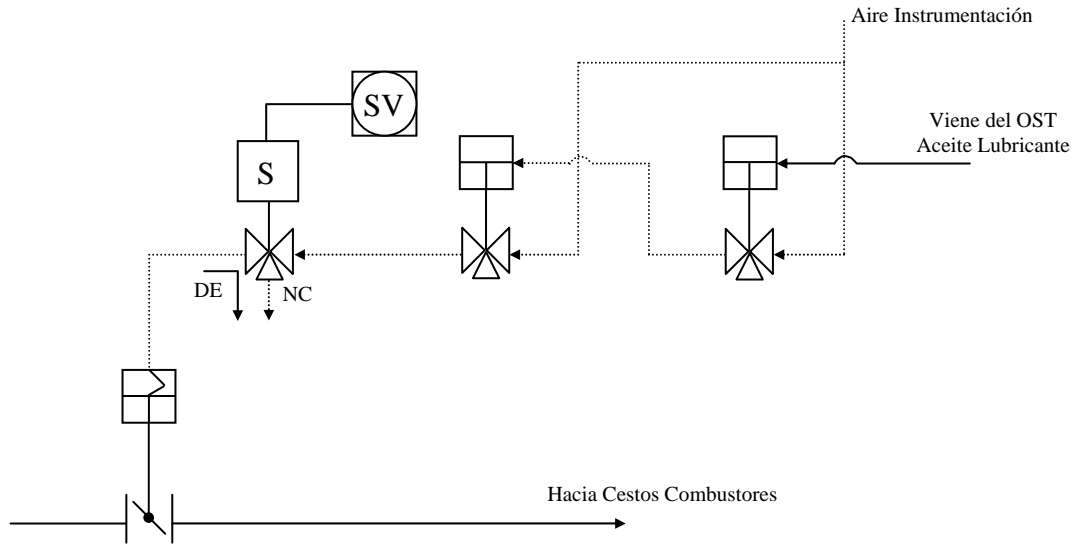


Figura 16: Apertura de válvula principal usando aire de instrumentación
Fuente: El Autor

2.7.7 Aire de Atomización

El aire de instrumentación es usado para realizar la apertura y cierre de válvulas así como también la purga del sistema de aire de atomización. En la siguiente figura se muestra el funcionamiento.

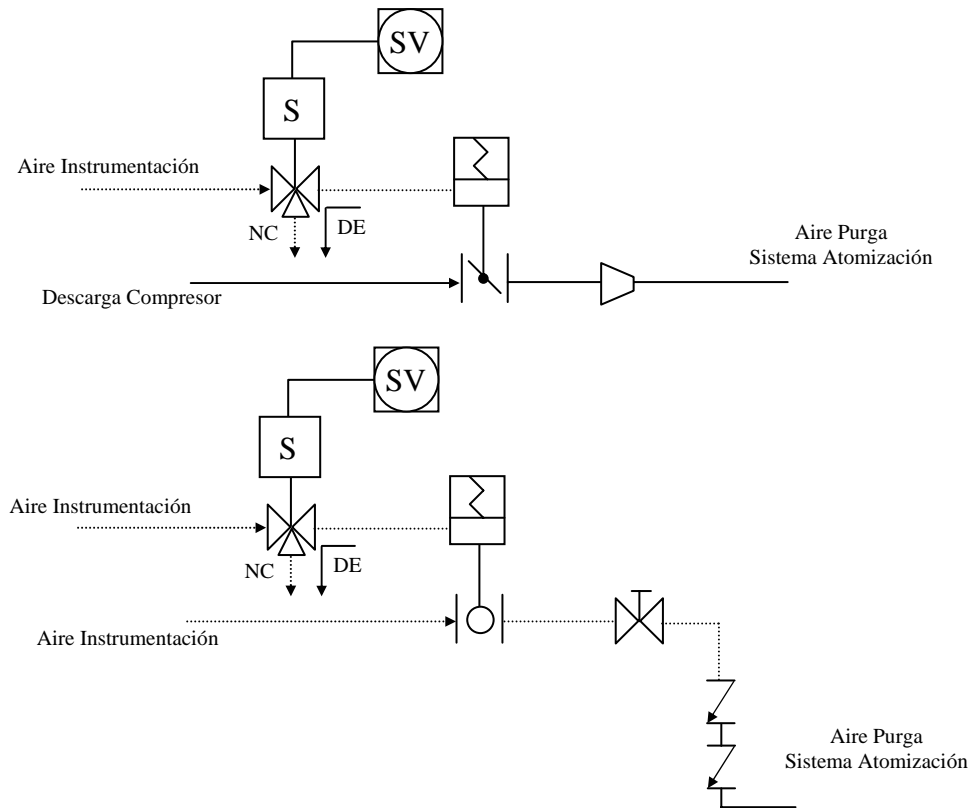


Figura 17: Aire de atomización en caso de uso de combustible líquido
Fuente: El Autor

2.8 Mantenimiento

El conjunto de actividades que se realizan a un sistema, equipo o componente para asegurar que continúe desempeñando las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado. Su objetivo primordial es preservar la función, las buenas condiciones de operabilidad, optimizar el rendimiento y aumentar el período de vida útil de los activos, procurando una inversión óptima de recursos.

Esto implica enfocar la atención en mantener lo que cada activo hace en vez de lo que dicho activo es. Claramente, antes de hacer esto, hay que tener un entendimiento claro sobre las funciones de cada activo junto con las normativas de rendimiento asociadas.

El gran reto de las organizaciones industriales, radica en la mejor utilización de sus recursos humanos y materiales para obtener la mayor cantidad de producción al menor costo. Una alta producción puede obtenerse con una utilización económica, eficiente y razonable del personal y de la planta industrial. Para alcanzar este reto se hace necesario asegurar la disponibilidad de los recursos.

Todos los cuerpos están expuestos al deterioro y desgaste de sus componentes físicos, y los equipos y máquinas industriales no son la excepción, por tal razón, si deseamos que estos sistemas presten de forma continua el servicio para el cual fueron diseñados y construidos, debemos prestar atención a los requerimientos mínimos que exigen dichos sistemas, inspección, ajuste, alineación, remoción, reemplazo, reinstalaciones, calibración, lubricación, etc.

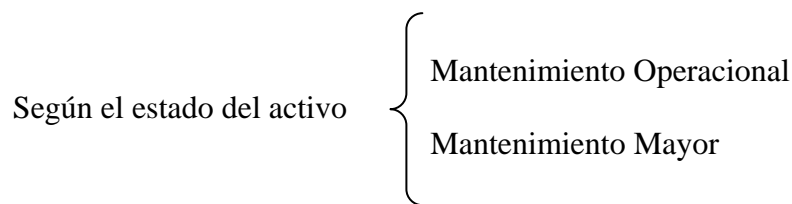
La justificación del mantenimiento se fundamenta en el hecho de que es útil para asegurar la operabilidad de las instalaciones y sistemas y mejorar los índices de disponibilidad y servicios, con el objeto de que el proceso productivo no se vea interrumpido por fallas en los equipos.

2.8.1 Definición General de Mantenimiento

Es un conjunto de actividades continuas y permanentes, dirigidas a prevenir o restaurar el funcionamiento normal y eficiente de un sistema o unidad productiva dentro de las metas de tiempo de ejecución y presupuesto.

2.8.2 Clasificación del Mantenimiento

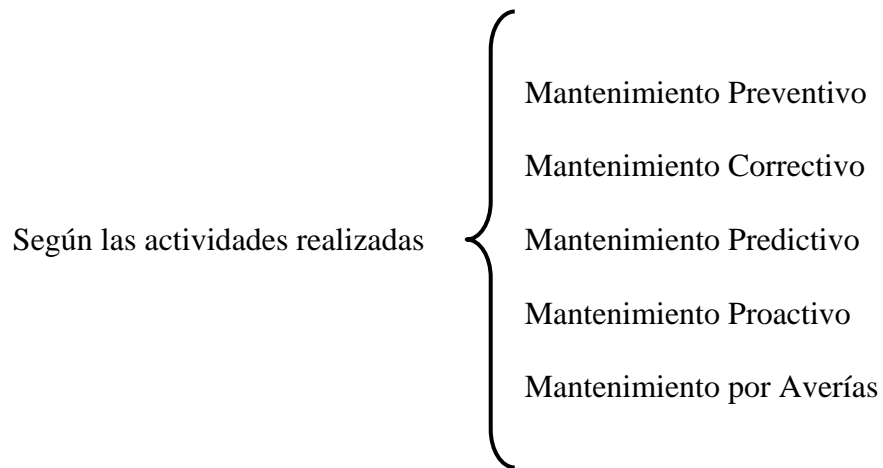
El acelerado y continuo desarrollo de la ingeniería, así como también los avanzados diseños de equipos y maquinarias, han dado origen a una variedad de acciones de mantenimiento, lo que hace necesario clasificarlas.



2.8.2.1 Mantenimiento Operacional: Se define como la acción de mantenimiento aplicada a un equipo o sistema a fin de mantener su continuidad operacional, el mismo es ejecutado en la mayoría de los casos con el activo en servicio sin afectar su operación natural.

La aplicación y operación de este tipo de mantenimiento es completamente dinámica, la aplicación de los planes de mantenimiento rutinario se efectúa durante todo el año con programas diarios que dependen de las necesidades que presente un equipo sobre las condiciones particulares de operación.

2.8.2.2 Mantenimiento Mayor: Es el mantenimiento aplicado a un equipo o instalación donde su alcance en cuanto a la cantidad de trabajos incluidos, el tiempo de ejecución, nivel de inversión o costo del mantenimiento y requerimientos de planificación y programación, son de elevada magnitud, dado que la razón de este tipo de mantenimiento reside en la restitución general de las condiciones de servicio del activo, bien desde el punto de vista de diseño o para satisfacer un periodo de tiempo considerable con la mínima probabilidad de falla. ó interrupción del servicio y dentro de los niveles de desempeño o eficiencia requeridos.



2.8.2.3 Mantenimiento Preventivo: Es aquel que consiste en un grupo de tareas planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde se ubican, alargar sus ciclos de vida y mejorar la eficiencia de los procesos. En la medida en que se optimicen las frecuencias de las actividades de mantenimiento se logrará aumentar las mejoras operacionales de los procesos.

De otra manera se puede definir como, la programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario

Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

Ventajas del Mantenimiento Preventivo:

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

Fases del mantenimiento Preventivo

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente,
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

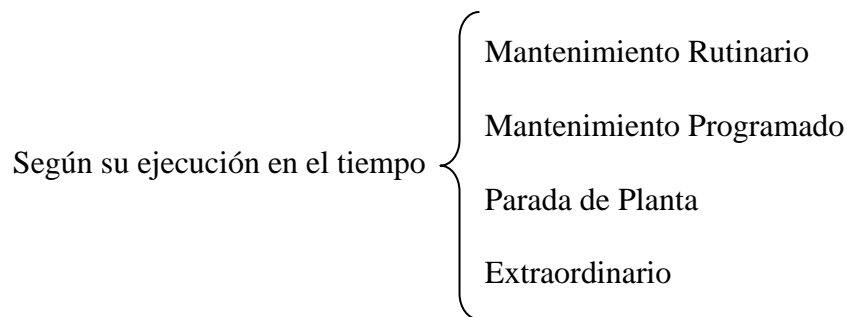
2.8.2.4 Mantenimiento Correctivo: También denominado mantenimiento reactivo, es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas, con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un para imprevisto. Las causas que pueden originar un para imprevisto se deben a desperfectos no detectados durante las inspecciones predictivas, a errores de operación, a la ausencia de tareas de amntenimiento y a requerimientos de producción que generan políticas como las de “repara cuando falle”

Existen desventajas, se deja trabajar una máquina hasta la condición de reparar cuando falle, ya que generalmente los costos por impacto total son mayores que si se hubiese inspeccionado y realizado las tareas de mantenimiento adecuadas que mitigaran o eliminaran las fallas.

2.8.2.5 Mantenimiento Predictivo: Es un mantenimiento planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, programas de inspección y reparación de equipos, el cual se adelanta al suceso de las fallas, es decir, es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales con el sistema en funcionamiento. Con los avances tecnológicos se hace más fácil detectar las fallas, ya que se cuenta con sistemas de vibraciones mecánicas, análisis de aceite, monitoreos de condición, entre otras.

2.8.2.6 Mantenimiento Proactivo: es aquel que engloba un conjunto de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo que tienen por objeto lograr que los activos cumplan con las funciones requeridas dentro del contexto operacional donde se ubican, disminuir las acciones de mantenimiento correctivo, alargar sus ciclos de funcionamiento, obtener mejoras operacionales y aumentar la eficiencia de los procesos.

2.8.2.7 Mantenimiento por Averías: Es el conjunto de acciones necesarias para devolver a un sistema y/o equipo las condiciones normales operativas, luego de la aplicación de una falla. Generalmente no se planifica ni se programa, debido a que la falla ocurre de manera imprevista.



2.8.2.8 Mantenimiento Rutinario: Está relacionado a las tareas de mantenimiento regulares o de carácter diario.

2.8.2.9 Mantenimiento Programado: Está relacionado a los trabajos recurrentes y periódicos de valor sustancial.

2.8.2.10 Parada de Planta: Está relacionado durante paradas planificadas.

2.8.2.11 Extraordinario: Está relacionado al trabajo causado por eventos impredecibles.

2.8.3 Costos Asociados al Mantenimiento

El mantenimiento como elemento indispensable en la conformación de cualquier proceso productivo genera un costo que es reflejado directamente en el costo de producción del producto, es por ello que la racionalización objetiva de los mismos permitirá ubicar una empresa dentro de un marco competitivo. A través de la historia el costo de mantenimiento ha sido visto como un mal necesario dado que siempre había sido manejado como un instrumento de restitución global sin considerar los costos de oportunidad de la inversión, por otra parte no se cuantificaba la real necesidad del mismo en cuanto al momento de su ejecución, la magnitud adecuada del alcance del trabajo y los requerimientos de calidad que permitieran asegurar la acción de mantenimiento por el periodo de operabilidad establecido en análisis.

A continuación se enumeran algunos costos asociados al mantenimiento:

- a. **Mano de Obra:** Incluye fuerza propia y contratada.
- b. **Materiales:** Consumibles y componentes de reposición.
- c. **Equipos:** Equipos empleados en forma directa en la ejecución de la actividad de mantenimiento.
- d. **Costos Indirectos:** Artículos del personal soporte (supervisorio, gerencial y administrativo) y equipos suplementarios para garantizar la logística de ejecución (transporte, comunicación, facilidades).
- e. **Tiempo de Indisponibilidad:** Cualquier ingreso perdido por ausencia de producción o penalizaciones por riesgo mientras se realiza el trabajo de mantenimiento.

2.8.4 Planes de Mantenimiento

Es el conjunto de tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas a proteger la función principal de un activo, estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y el personal destinado a realizarlas. Se pueden establecer dos enfoques de plan de mantenimiento a saber:

2.8.4.1 Plan Estratégico: Es el plan corporativo o divisional que consolida las instalaciones y/o equipos que serán sometidos a mantenimiento mayor en un periodo

determinado y que determina el nivel de inversión y de recursos que se requiere para ejecutar dicho plan.

2.8.4.2 Plan Operativo: Es el plan por el medio del cual se definen y establecen todos los parámetros de cómo hacer el trabajo, es decir, se relacionan con el establecimiento de objetivos específicos, medibles y alcanzables de forma tal que las divisiones, departamentos, equipos de trabajo y las personas dentro de una organización deben lograr comúnmente a corto plazo y en forma concreta.

Los planes operativos se emplean como instrumento de implementación a corto plazo para la consecución de los objetivos de cada una de las acciones que conforman los planes estratégicos que por sí solos no pueden garantizar el éxito de su ejecución.

2.9 Análisis de Criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable, además para el caso particular de este trabajo se usará para justificar la realización del proyecto en base a la criticidad que presente el sistema de aire de instrumentación.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales nombrados en el párrafo anterior. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se debe cumplir la aplicación de la guía que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

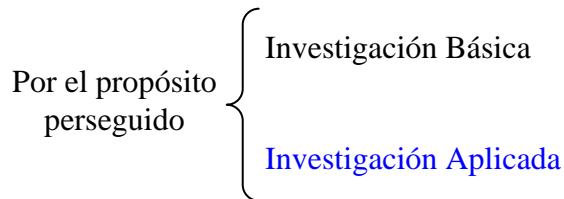
- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal
- Resguardo de sistemas o equipos

Capítulo III

Marco Metodológico

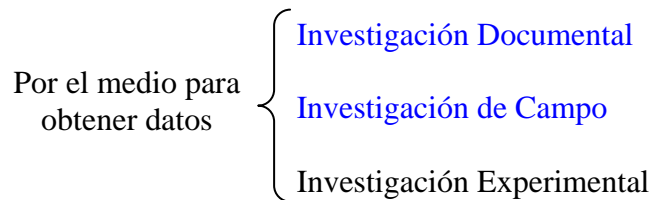
CAPÍTULO III – MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación



3.1.1 Investigación Aplicada

Este tipo de investigación también recibe el nombre de práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si nos percatamos de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Sin embargo, en una investigación empírica, lo que le interesa al investigador, primordialmente, son las consecuencias prácticas.

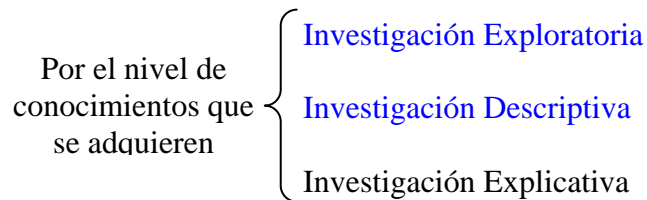


3.1.2 Investigación documental

Este tipo de investigación es la que se realiza, como su nombre lo indica, apoyándose en fuentes de carácter documental, esto es, en documentos de cualquier especie. Como subtipos de esta investigación encontramos la investigación bibliográfica, la hemerográfica y la archivística; la primera se basa en la consulta de libros, la segunda en artículos o ensayos de revistas y periódicos, y la tercera en documentos que se encuentran en los archivos, como cartas, oficios, catálogos, expedientes, etcétera.

3.1.3 Investigación de campo

Este tipo de investigación se apoya en informaciones que provienen entre otras, de entrevistas, cuestionarios, encuestas y observaciones. Como es compatible desarrollar este tipo de investigación junto a la investigación de carácter documental, se recomienda que primero se consulten las fuentes de la de carácter documental, a fin de evitar una duplicidad de trabajos.



Fundamentalmente la investigación de este proyecto es de tipo descriptiva

3.1.4 Investigación Descriptiva

Mediante este tipo de investigación, que utiliza el método de análisis, se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio. Al igual que la investigación que hemos descrito anteriormente, puede servir de base para investigaciones que requieran un mayor nivel de profundidad.

3.1.5 Investigación Exploratoria

Recibe este nombre la investigación que se realiza con el propósito de destacar los aspectos fundamentales de una problemática determinada y encontrar los procedimientos adecuados para elaborar una investigación posterior. Es útil desarrollar este tipo de investigación porque, al contar con sus resultados, se simplifica abrir líneas de investigación y proceder a su consecuente comprobación.

3.2 Procedimientos y Actividades

1. Reconocimiento de la planta a través de un recorrido y una charla inductiva.
2. Revisión de información general de la planta.
3. Revisión bibliográfica de todo tema relacionado con la generación eléctrica y particularmente en centrales termoeléctricas a gas.
4. Reconocimiento en campo de las unidades de generación.
5. Revisión de información específica del sistema de aire de instrumentación.
6. Reconocimiento en campo para la familiarización con el sistema de aire.
7. Revisión bibliográfica a través de manuales del fabricante y planos operativos de los sistemas con el cual interactúa el aire de instrumentación.
8. Análisis de la problemática existente con el aire de instrumentación.
9. Evaluación de criticidad de los sistemas con los que interactúa el aire. A través de información aportada por el personal.
10. Revisión de las propuestas planteadas.
11. Desarrollo de la propuesta de solución.
12. Presentación de la propuesta al personal de planta a fin de recibir sugerencias para el mejoramiento del diseño.
13. Realización de una lista de equipos necesarios en el sistema diseñado.
14. Selección de todos estos equipos usando para ello un diagrama de flujo a fin de facilitar la labor.
15. Preparación de documentación técnica/comercial para la ejecución de las modificaciones planteadas.
16. Observación del espacio disponible para la colocación de los equipos que conforman el sistema de respaldo de aire.
17. Revisión del libro de setting para elegir los ajustes de los instrumentos.
18. Determinación experimental de las pérdidas de presión en el sistema de aire de instrumentación.
19. Elaboración de manual de instalación y ubicación del sistema.
20. Elaboración de cómputos métricos y lista de materiales.
21. Elaboración del plano operativo del sistema de aire de instrumentación incluyendo el sistema diseñado.
22. Elaboración de la lógica de control asociada al sistema.
23. Desarrollo del plan de mantenimiento correctivo y preventivo del nuevo sistema.
24. Durante todo el tiempo de la realización del proyecto la comunicación con el personal fue muy importante con el fin de aprovechar su experiencia en el conocimiento de los sistemas de las unidades.

3.3 Métodos Usados de Recolección de Datos e Información

Un instrumento de recolección de datos es en principio, cualquier recurso del que puede valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información.

- Conferencias de Inducción: se plantea con el fin de conocer los riesgos presentes en la planta y acciones a tomar en caso de emergencia. Además de ser el primer acercamiento visual con las unidades de generación.
- Revisión bibliográfica: búsqueda de información para la familiarización con el tema y además para profundizar en conocimientos. Realización de una base teórica para el buen desarrollo del proyecto.
- Integración de los Sistemas: después de realizar la revisión bibliográfica de los sistemas surge la necesidad de integrarlos para conocerlos como un todo.
- Comunicación con el personal: durante la realización del proyecto una técnica importante para la recolección de información fue la aportada por el personal.
- Entrevistas con el personal: usado para mostrar los avances del proyecto y escuchar críticas, sugerencias, planteamientos, mejoras, modificaciones, etc que pudieran ayudar a la obtención final de un buen trabajo.
- Revisión de catálogos: en estos se consigue información precisa acerca de características fundamentales y específicas de los instrumentos y equipos.
- Comparación: este método fue usado para la selección de equipos y materiales. Se comparaba especificaciones de un modelo en particular con las condiciones exigidas por el sistema para ello se utilizó un flujograma que facilita un poco el proceso.
- Observación: consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar. Este método es muy importante durante el desarrollo del proyecto y principalmente cuando se debe decidir la disposición de los equipos del sistema de respaldo.

3.4 Concepción para el Desarrollo del Diseño

La estrategia empleada para el desarrollo del diseño fue dividirlo en cinco partes para obtener un diseño final ajustados a las necesidades.

- Diseño conceptual del sistema
- Selección de materiales y equipos
- Desarrollo del manual de instalación
- Diseño de la lógica de control
- Desarrollo del manual de operación y mantenimiento

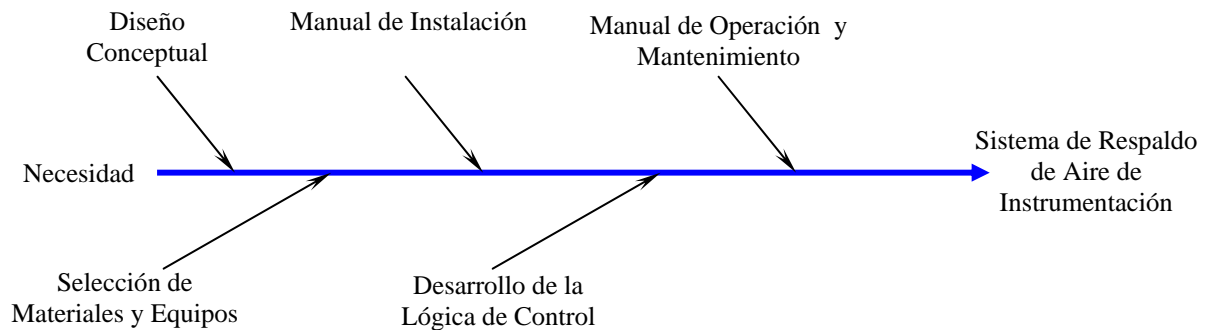


Figura 18. Diagrama de Ishikawa acerca del trabajo de investigación
Fuente: El autor

3.4.1 Diseño Conceptual del Sistema

3.4.1.1 Objetivo: Obtener un diseño conceptual final que se adapte a las necesidades del sistema y del personal, que además minimice los riesgos que ocasionaría una falla en el sistema de aire.

3.4.1.2 Procedimiento: Cada propuesta realizada fue consultada con personal que labora en la planta de manera de conocer sus opiniones, sugerencias, mejoras y críticas acerca de los planteamientos realizados, a fin de obtener una solución que se adapte a las necesidades reales del personal y de la planta, es decir, se realizó una tormenta de ideas basada en cada propuesta, realizando modificaciones conceptuales de diseño a medida que éste evolucionaba.

3.4.1.3 Propuesta A

A continuación se muestra un esquema general, que es una solución inicial a la propuesta:

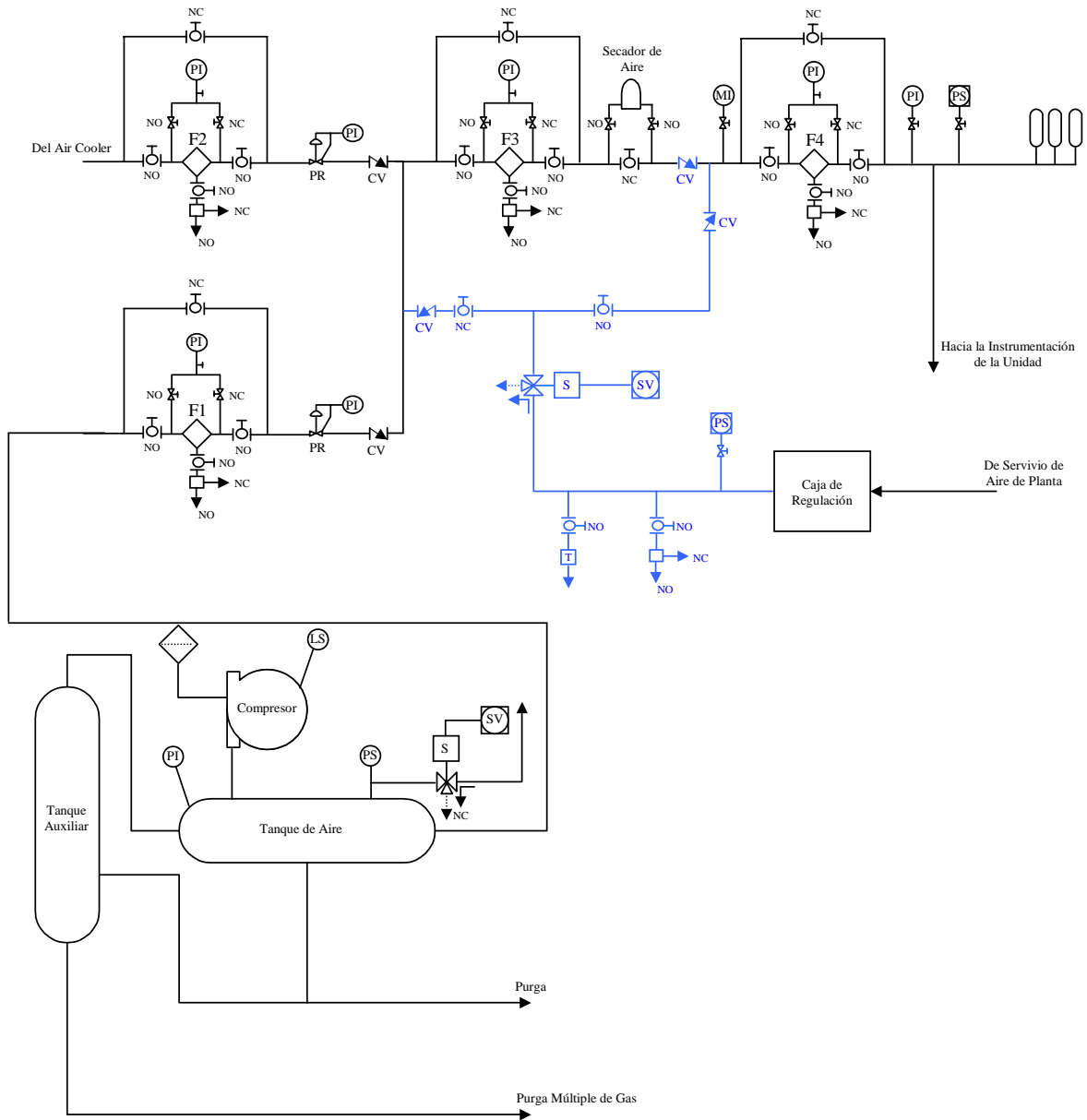


Figura 19: Propuesta A
Fuente: El Autor

3.4.1.4 Descripción de la Propuesta

La propuesta consta de un interruptor de presión ubicado después de la caja de regulación (ya existente en el sistema). Este dispositivo accionará una alarma en el caso que sistema de aire de planta esté por debajo de cierto nivel de presión. Luego aguas abajo se encuentran una trampa de agua y más adelante un venteo para la circulación del aire en la tubería. Este sistema entrará a operar sólo en caso de contingencia, por esa razón dispone de una válvula solenoide que se abrirá solamente en caso de que la presión del aire se encuentre por debajo de cierto valor.

Si se presenta un inconveniente imprevisto, como por ejemplo con el secador de aire, el sistema de aire dispondrá de una alternativa de emergencia, esto es, al activarse el interruptor de presión que se encuentra después de los filtros, éste manda una orden para abrir la válvula solenoide dejando pasar el aire a través de una tubería en donde se encuentra una válvula de cierre normalmente abierta hasta una toma después de los secadores. Para evitar la circulación aguas arriba hacia el secador se coloca una válvula check. Como a través de este proceso el aire no pasa a través de los dos filtros y el secador, este procedimiento sólo debe activarse en caso de emergencia.

Si se presentara un problema con el compresor auxiliar de alguna de las unidades y se necesita, por ejemplo, realizar la parada de ella, el sistema propuesto consta de una segunda toma antes del secador de aire a través de una tubería que dispone de una válvula de cierre normalmente cerrada e inmediatamente después de una válvula check.

Para realizar este procedimiento el operador debe dirigirse a la unidad, cerrar la válvula de cierre normalmente abierta y abrir la normalmente cerrada, antes de comenzar la secuencia de parada. De esta manera al abrirse la válvula solenoide como consecuencia de la baja presión, el aire proveniente del sistema de servicio de planta pasará a través de un filtro y del secador del sistema de aire de instrumentación.

Aunque este sistema de contingencia es muy adecuado a las necesidades de la Planta O.A.M., también es cierto que este sistema carece de la instrumentación necesaria para llevar un control efectivo sobre el comportamiento a lo largo del tiempo del sistema de aire de instrumentación. Con lo cual pudieran prevenirse fallas que en la actualidad sólo son detectadas al momento que ocurren.

El sistema actual indica en el computador principal cuando existen problemas con el aire de instrumentación lo siguiente: “Instrument Air Pressure Low”, con lo

cual no se sabe si la presión de aire está ligeramente inferior al límite o muy por debajo, tampoco se conoce cual es la tendencia de la presión a lo largo del tiempo, es decir, si ha venido disminuyendo el nivel de presión o si es una disminución de la presión instantánea. Si por ejemplo, se observa que la presión del aire de instrumentación va disminuyendo progresivamente en alguna de las unidades, el operador pudiera tomar las acciones necesarias para evitar daños a los sistemas o parte de las máquinas.

3.4.1.5 Propuesta B

Por lo antes planteado, se considera necesaria la implementación de instrumentación para llevar una observación y control mucho más efectivo sobre variables de gran importancia para los equipos. A continuación se muestra un esquema general de una tentativa solución a la problemática actual.

3.4.1.6 Descripción de la Propuesta

✓ A la propuesta inicial se le adiciona un transmisor de presión (PT). Su función es transmitir en todo momento el valor de la presión del aire de instrumentación. Así se podrá saber si el sistema presenta una anomalía, para entonces actuar de manera más eficaz.

Este transmisor estará ubicado después del grupo de filtros y del secador de aire, entonces medirá la presión del sistema independientemente si éste está actuando con aire proveniente del compresor axial, auxiliar ó del aire de planta.

✓ También se propone la implementación de un interruptor de presión que transmita información a la consola del operador, este interruptor constará de dos niveles de alarma: la primera alarma es para dar a conocer que el nivel de presión de alguna zona del sistema pudiera presentar algún problema, si la alarma cesa es porque se ha normalizado el sistema, si por el contrario se activa la segunda alarma es porque el nivel de presión ha descendido aún más lo cual requiere acciones por parte del operador.

Este dispositivo estará ubicado en la línea aguas arriba del compresor auxiliar de las unidades y su implementación se justifica dado que, si requiere realizar una secuencia de parada, es necesario que los niveles de presión de esa línea sean los

adecuados, porque recordemos que por debajo de ciertas revoluciones de la máquina, el aire del compresor comienza a descargarse a través de las válvulas desaireadoras, por lo cual la presión del aire proveniente del compresor axial será muy baja y se necesitará del uso del compresor auxiliar. De forma similar pasaría en una secuencia de arranque.

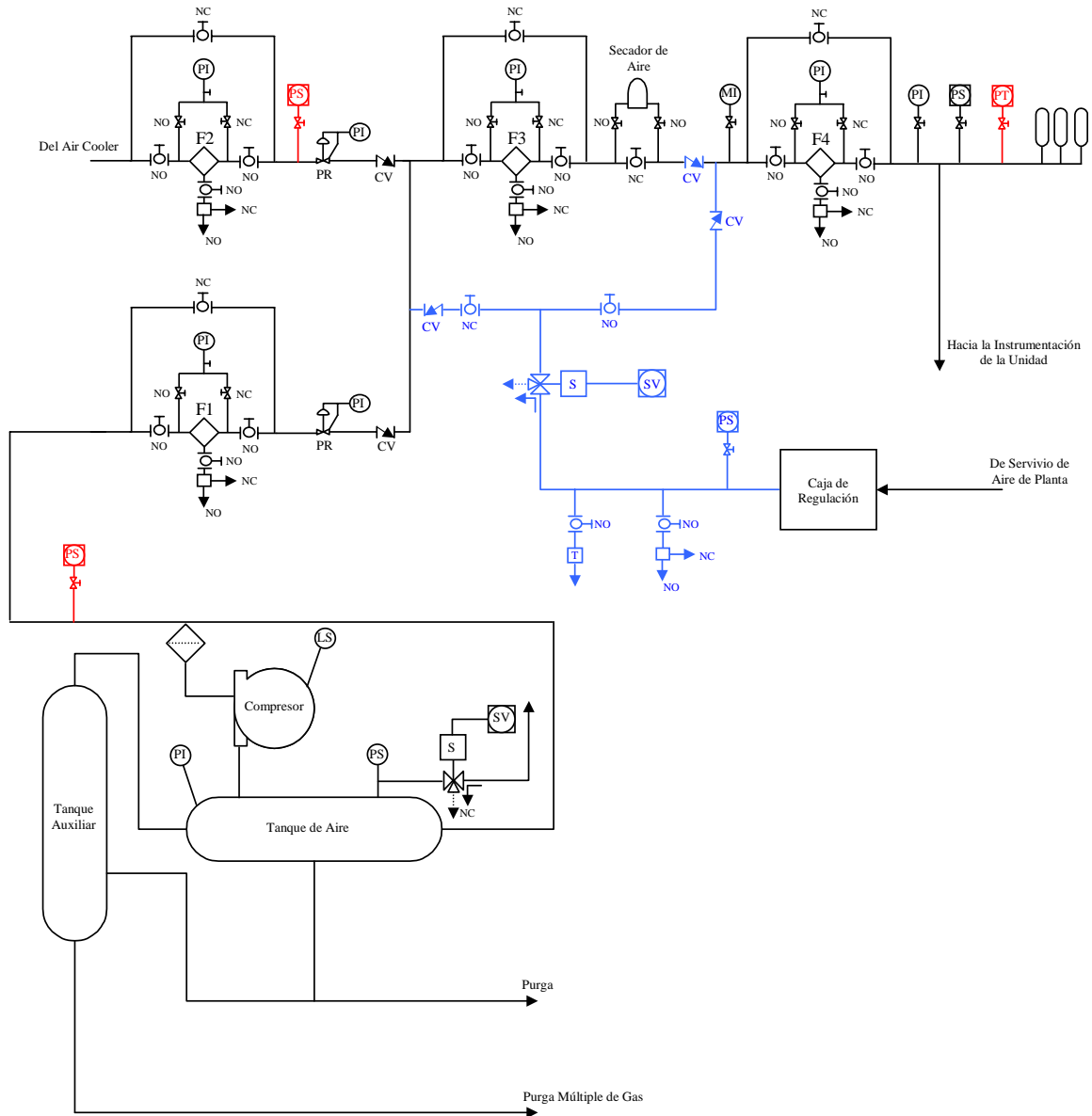


Figura 20: Propuesta B
Fuente: El Autor

Adicionalmente, se propone un interruptor de presión colocado en la línea que proviene del compresor axial entre el filtro F2 y la válvula reguladora. Este interruptor tiene como objetivo advertir en qué ocasiones el aire proveniente del compresor axial tiene bajos niveles de presión, para entonces según sean las condiciones de funcionamiento, conocer si es una situación normal o se trata de alguna falla en el sistema, de ser así el operador debe tomar medidas para corregirla. Adicionalmente, con este instrumento se podría conocer de manera indirecta, si el aire de instrumentación en un instante cualquiera proviene del compresor auxiliar o axial.

3.4.1.7 Propuesta C

3.4.1.8 Descripción de la Propuesta

✓ El interruptor de presión que en la propuesta anterior se ubicaba antes del filtro F1, ahora se propone justo después de este filtro. Además la alarma se activará solamente al descender la presión de esa línea por debajo de un valor preestablecido, para así advertir de cualquier inconveniente que pudiera presentarse en el sistema auxiliar.

La razón de cambiar de posición el interruptor se debe a la necesidad de abarcar la mayor cantidad de dispositivos bajo inspección de los sistemas de control. Al ocurrir alguna falla considerable en el filtro F1 ó aguas abajo será detectada por este interruptor.

✓ No colocar el interruptor de presión que se había propuesto después del filtro F2, puesto no es necesario para que el sistema funcione según las necesidades actuales.

✓ La válvula solenoide que se encuentra en la línea que viene del sistema de aire de planta, recordando, se abre cuando se activa el interruptor de presión ubicado después del filtro F4. En la actualidad este interruptor se activa a una presión de 80 psig, valor con el cual el sistema de aire de instrumentación puede trabajar perfectamente siempre que no haya una falla en el sistema. Al observar una secuencia de parada o arranque se nota que con frecuencia aparece en el panel de control una alarma que indica baja presión en el aire de instrumentación, según la propuesta actual, cada vez que aparezca esta alarma se activará el sistema de emergencia y tomando en cuenta que el aire de servicio de planta no necesariamente tiene una buena calidad (humedad y limpieza), esta no parece ser la solución ideal. Por eso se propone un interruptor de presión de dos contactos, el cual, activará una primera

alarma a 80 psig de forma de advertencia y una segunda a un nivel más bajo de presión que si abrirá la válvula solenoide.

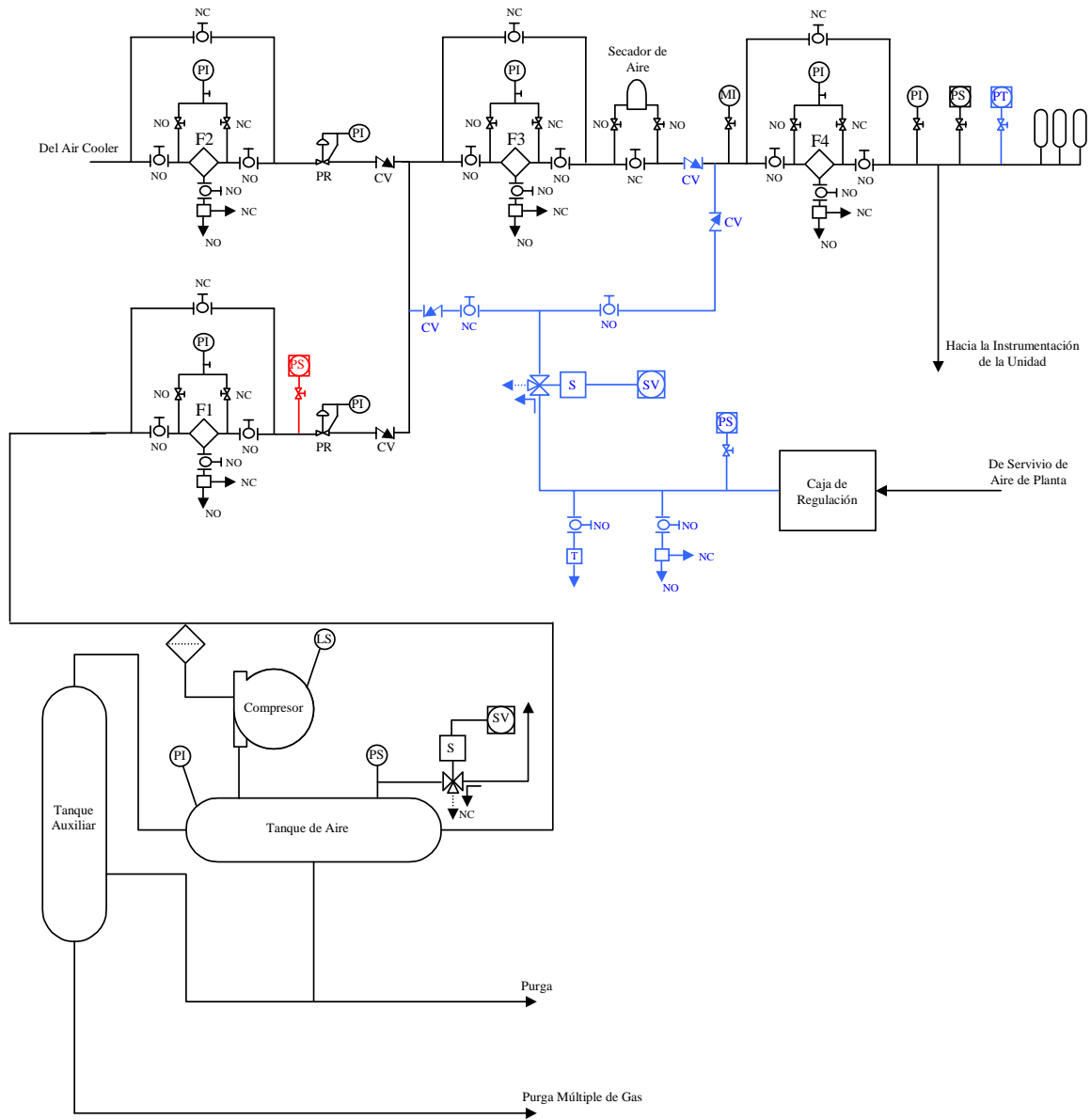


Figura 21: Propuesta C
Fuente: El Autor

3.4.1.9 Propuesta D

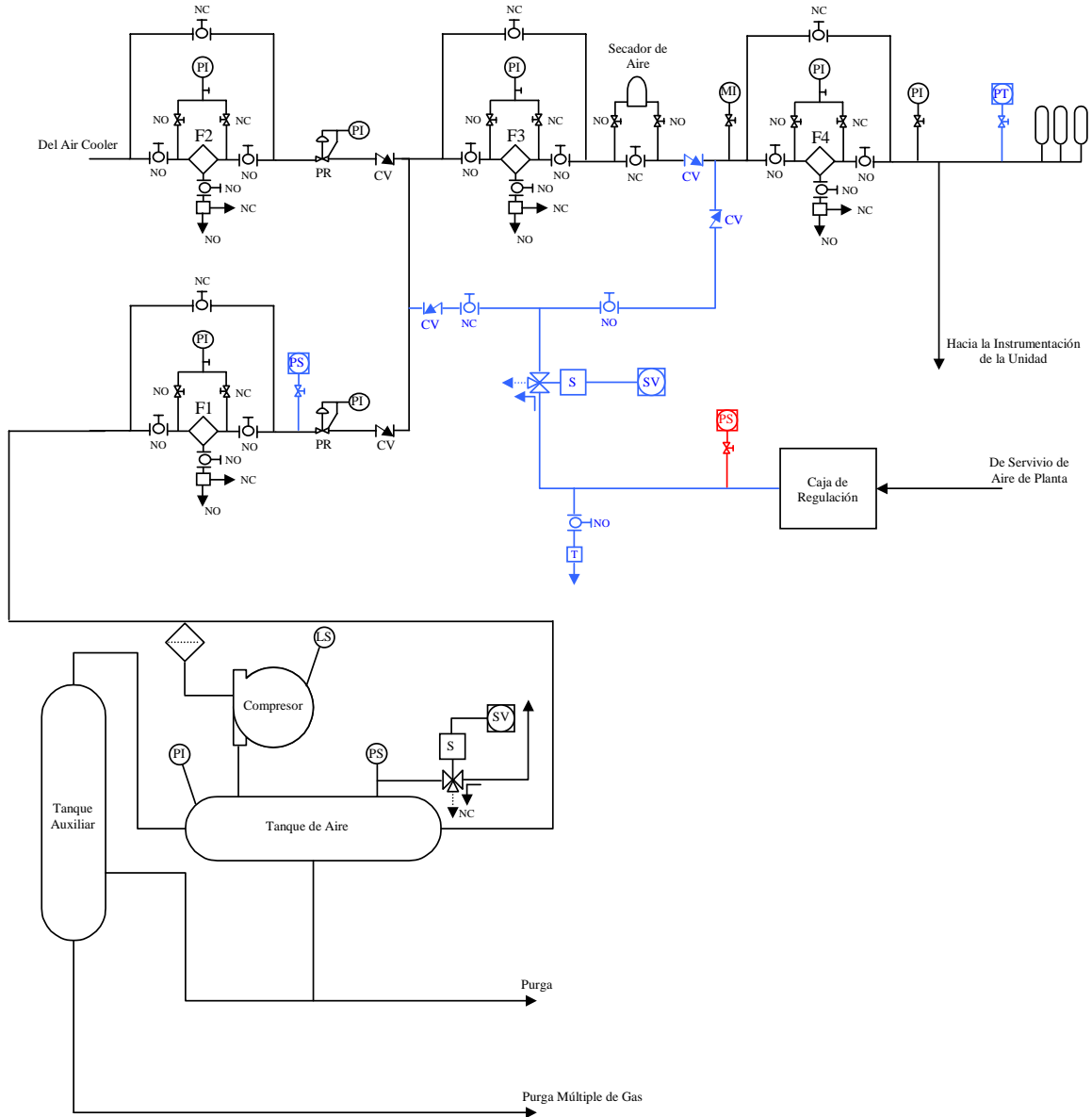


Figura 22: Propuesta D
Fuente: El Autor

3.4.1.10 Descripción de la Propuesta

- ✓ Una diferencia entre esta propuesta y la anterior es el interruptor de presión que estaba después del filtro F4 se cambió de lugar y se colocará después de la caja de regulación. Esta decisión se debe a que la función que ejercía este interruptor puede ser perfectamente sustituida con el transmisor de presión.
- ✓ Además luego de consultar acerca de modelos de trampas de agua utilizadas en la actualidad se verificó que existe un proceso de cambio de los modelos que se utilizaban anteriormente. En modelo nuevo se trata de una purga temporizada que ubicándola en un lugar adecuado pudiera purgar el agua condensada en la tubería proveniente de la caja de regulación.

3.4.2 Selección de Materiales y Equipos

Para realizar la selección de equipos fue necesario el establecimiento de las propiedades generales del aire de instrumentación, para ello se contó con manuales de operación y mantenimiento de las unidades. Y en algunos casos con normativas impuestas tanto por Siemens Westinghouse o por normativas relacionadas con aire para control neumático como normativas de Atlas Copco.

Propiedad	Valor o rango
Presión (psig)	$80 < P < 100$
Temperatura (°C)	$T < 60$
Máximo tamaño de partículas sólidas	1 micra
Cantidad máxima de aceite	1 mg/m^3

Tabla 1: Propiedades del Aire

Fuente: El Autor

Luego de establecidas las propiedades del aire se procedió de la siguiente manera para cada equipo.

3.4.2.1 Procedimiento de Selección de Equipos

El siguiente diagrama de flujo muestra el procedimiento usado para la selección de los equipos:

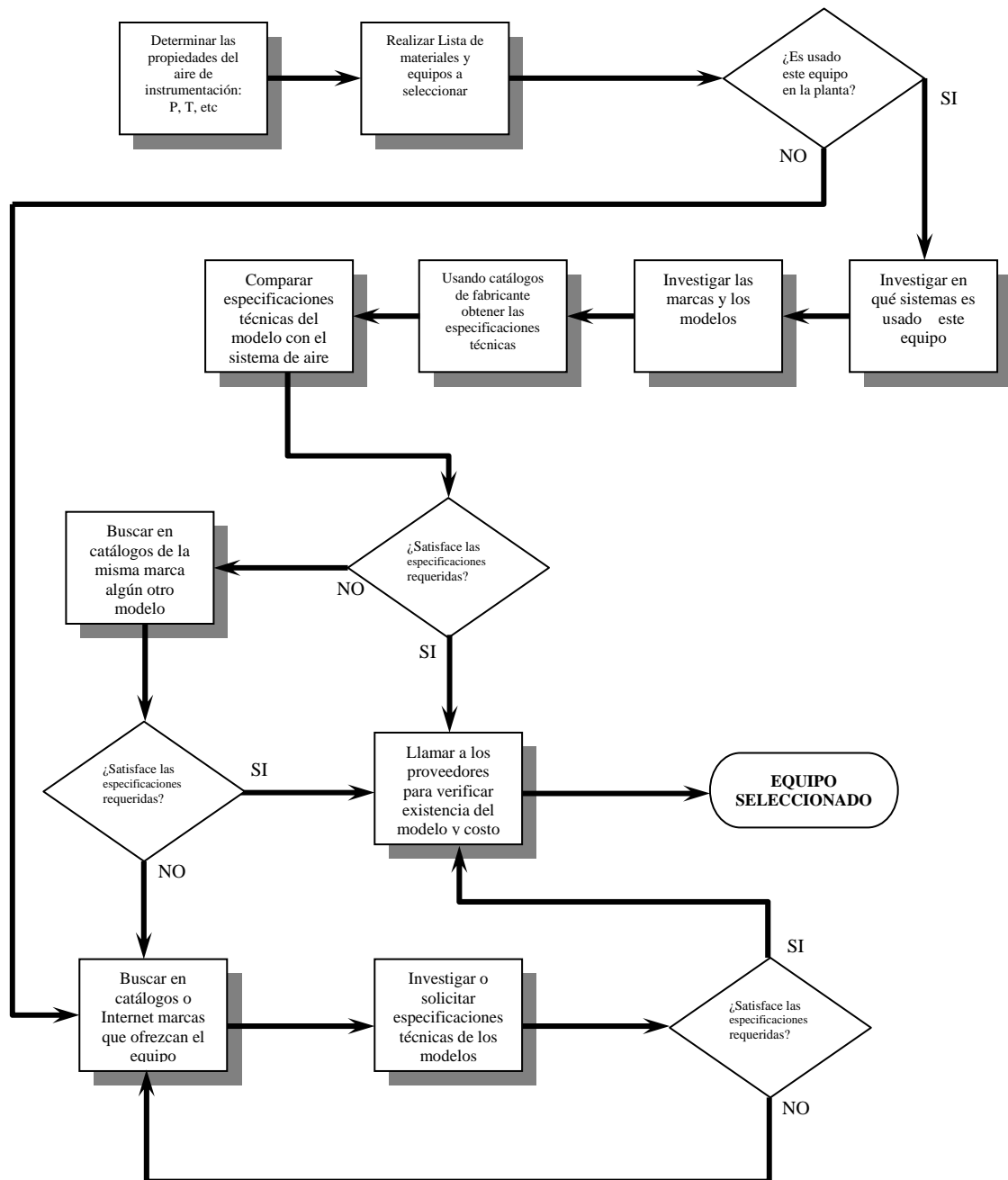


Figura 23: Diagrama de flujo selección equipos
Fuente: El Autor

3.4.2.2 Verificación de Compresores Atlas Copco

Para la verificación del uso de los compresores Atlas Copco se utilizó un procedimiento tomado del manual de instalaciones neumáticas de Atlas Copco. Este procedimiento se verá en detalle en el Capítulo IV.

3.4.3 Desarrollo del Manual de Instalación

Ubicación Física e Instalación del Sistema de Respaldo

3.4.3.1 Ubicación

Este sistema debe ser instalado en cada unidad de generación eléctrica, para ello se debe evaluar las posibilidades de ubicación dentro del gabinete de interruptores de presión en el paquete mecánico principalmente.

Para realizar esta parte del proyecto se procedió de la siguiente manera:

1. Inspección visual del gabinete de interruptores de presión.
2. Revisión de la disponibilidad de espacio dentro del gabinete.
3. Revisión del tamaño de cada equipo a instalar.
4. Comparación de los espacios disponibles con el tamaño de los equipos y accesorios.
5. Diseño del recorrido de la tubería junto con la disposición de los equipos dentro del gabinete.
6. Revisión final del diseño.
7. Exposición del diseño al personal.
8. Ejecución de las modificaciones planteadas por parte del personal para el mejoramiento del diseño.
9. Elaboración del manual de ubicación de los equipos.
10. Elaboración de diagrama isométrico de instalación del sistema.

3.4.3.2 Elaboración de Cómputos Métricos y Planos

3.4.3.2.1 Cómputos Métricos

Los cómputos métricos no son más que una lista de materiales y equipos especificando: nombre del equipo, Marca y modelo, cantidad, proveedor que lo distribuye y eventualmente costo.

Para realizar esto se enumeró de forma ordenada todos los equipos y accesorios para la instalación del sistema y luego se llevó a una lista. De forma que en una o dos hojas sea posible visualizar todos los materiales, equipos y accesorios que conforman la instalación del sistema.

3.4.3.2.2 Plano de Operación

El plano de operación es un tipo de plano donde se muestra toda la información relativa a un sistema pero sin la necesidad de que sea a escala. Un plano de este tipo sirve para conocer la forma en que opera un sistema no la ubicación específica de un equipo en un recinto.

Estos sirven para conocer más rápidamente como opera un sistema, hacen que la identificación de fallas sea más sencilla, reconocer en qué parte de un sistema un instrumento está midiendo una propiedad, dan a conocer todos los instrumentos, equipos, tuberías y otros que conforman un sistema.

Debido a que el sistema de aire de instrumentación se le adaptará un sistema de respaldo es importante la revisión del plano de este, para así agregarle los nuevos elementos que conformarán el nuevo sistema. Para ello se respetarán las normas usadas por Siemens Westinghouse en la elaboración de los planos operativos de las unidades.

3.4.3.3 Ajustes de los Instrumentos

Todo instrumento presente en cualquiera de las unidades debe estar ajustado a la normativa de Siemens Westinghouse. Existe un *Manual de Setting* el cual expone los valores a las cuales deben estar ajustados todos los instrumentos.

Partiendo de ello, se ajustará el de los nuevos instrumentos de forma de no incumplir la norma y así garantizar que las propiedades del aire de instrumentación se encuentren dentro de los valores exigidos.

3.4.4 Desarrollo de la lógica de Control

Una vez realizada la selección de equipos y ajustes de los instrumentos se procedió a desarrollar la lógica de control que se ajustara a las necesidades del sistema.

Para la realización de la lógica de control fue necesaria la investigación exhaustiva del sistema de control utilizado en la planta, para así lograr integrar las nuevas señales de control al sistema.

El desarrollo fue creado dentro de una consola de prueba del sistema de control que cumple con todas las características del sistema original. Esto para probar el funcionamiento del sistema antes de ser instalado. Personal certificado por Siemens Westinghouse debe realizar una revisión de toda modificación que se requiera realizar al sistema para su posterior aplicación.

3.4.4.1 Características que Debe Cumplir el Diseño Sistema de Control

- Que sea de fácil operación.
- El sistema debe reconocer una situación de verdadera emergencia.
- Que sea posible el seguimiento del comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.
- Que suministre al sistema automáticamente un control efectivo frente a diferentes fallas que pudieran ocurrir.
- Despliegue en pantalla las diversas acciones que se estén llevando a cabo de forma que el operador tenga conocimiento acerca de la situación
- Mostrar avisos oportunos a los operadores a través de alarmas, a fin de evitar posibles fallas que afecten tanto la producción de energía como a las unidades.
- Proporcionar control sobre los equipos que conforman el sistema ayudando así el mantenimiento y la predicción futura de fallas.
- Capacidad de almacenar información de eventos ocurridos.

3.4.4.2 Información que se Debe Suministrar con el Diseño del Sistema de Control

- Descripción de operación del sistema
- Lista de equipos que formarán parte del sistema de control
- Ajuste de los diferentes equipos

- Diagrama de flujo del proceso
- Eventos que pudieran ocurrir durante la operación
- Acciones a tomar por el sistema
- Definición de los puntos en el sistema de control
- Información de dirección de Hardware de la instalación eléctrica.

3.4.5 Plan de Operación y Mantenimiento

Para la realización del manual de operación y mantenimiento fue necesario la ayuda del personal de mantenimiento de la planta, aportando información vital en cuanto a los parámetros de mantenimiento.

El enfoque del manual de mantenimiento fue del tipo *Preventivo* y en pocos casos *Correctivo*. En general esto dependió específicamente de las características del equipo o sistema.

El manual de mantenimiento fue realizado desde la perspectiva de fichas técnicas de los equipos o sistema aportando información necesaria para la realización del mantenimiento. Esta información es mostrada a través de un manual impreso con todas las fichas técnicas y procedimientos y un programa en Microsoft Excel en el cual se podrá ver la misma información pero de manera interactiva.

Capítulo IV

Desarrollo del proyecto

CAPÍTULO IV- DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Evaluación de las Condiciones de Operación de las Unidades de Generación

La planta eléctrica O.A.M. es vital para el suministro de electricidad a la zona metropolitana. Genera aproximadamente el 21% de la energía eléctrica producida por la E.D.C. Inicialmente fue construida con el objetivo de suplir la demanda de energía eléctrica en las horas pico. Debido a la situación de crecimiento paulatino de la demanda eléctrica, la fuera de servicio de unidades de generación en el resto del país y la situación de la cuenca del Orinoco, en los últimos años la operación de estas unidades ha sido más de lo concebido inicialmente.

Los equipos son monitoreados en la sala de control, donde se pueden observar propiedades de los procesos durante la operación de una unidad, tales como: presión, temperatura, flujos, voltajes, corriente, rpm y otras. Cada unidad posee instrumentación adecuada que censa y transmite estas variables, si los valores salen de los límites de operación establecidos, los interruptores proceden de varias formas: emitiendo una alarma, deteniendo el proceso de producción de la unidad o accionando un equipo auxiliar.

Es importante el monitoreo constante de las propiedades de todos los sistemas de forma de facilitar labores de mantenimiento y evitar posibles fallas.

Las unidades al estar conectadas con la subestación de 69 Kv, dependen de los valores externos de voltaje, amperaje y frecuencia. Cuando existen cambios elevados en los niveles de tensión, amperaje y frecuencia es posible que las unidades detengan su proceso de producción eléctrica.

4.2 Análisis de la Problemática Existente

4.2.1 Sistemas Críticos

Para determinar la criticidad de un sistema es necesario una serie de datos. Estos valores deben reflejar los niveles de fallas en los equipos o sistema y el impacto en la unidad generadora, el personal que los opera y el medio ambiente (producción, tiempo de parada, seguridad y otros).

Todos los sistemas asociados al funcionamiento de las unidades de generación son de importancia tanto para la vida útil de la máquina como para la seguridad de los

trabajadores. Cualquier factor que ponga en riesgo las unidades o la seguridad personal debe corregirse para minimizar situaciones indeseadas.

El modelo de las unidades de generación existente en la Planta OAM consta con ciertos sistemas mencionados anteriormente. En particular el sistema de aire de instrumentación juega un papel muy importante dentro de los procesos que se llevan a cabo durante la generación eléctrica, puesto que gran parte de las válvulas son accionadas mediante mecanismos neumáticos, usando para ello aire de instrumentación. De esta forma se nota que, si existiera una falla en el sistema de aire de instrumentación ciertos mecanismos dentro de las unidades dejarían de funcionar trayendo como consecuencia la paralización inmediata del funcionamiento de las mismas. Esto sucede porque cuando un sistema falla, las medidas de protección actúan para evitar situaciones que pudieran ser perjudiciales.

Como ya se mencionó los mecanismos sobre el cual actúa el aire de instrumentación son los siguientes:

- Control de temperatura del aceite lubricante
- Mecanismo de válvulas desaireadoras del compresor
- Movimiento de los álabes guías en la entrada al compresor
- Sello de aire para los cojinetes
- Sistema de purga de combustible
- Aire de atomización para los combustores
- Apertura de válvulas en el sistema de gas
- Aire para enfriamiento de cableado

Todos estos mecanismos son importantes para el buen funcionamiento de las máquinas, pero según los antecedentes el mecanismo más importante que pudiera atender con la integridad de las unidades es el mecanismo de apertura y cierre de las válvulas desaireadoras del compresor, debido a que estas válvulas son las encargadas de purgar el aire contenido en el compresor durante un arranque o parada de cualquiera de las unidades.

Si estas válvulas fallaran en su tarea, no sería posible aliviar el aire retenido dentro del compresor, produciéndose entonces grandes diferenciales de presión entre sus distintas etapas. Esto traería como consecuencia principalmente el aumento de los niveles de vibración por encima incluso del doble de los niveles máximos permitidos según los fabricantes, lo cual pudiera dañar cualquier componente de la unidad.

Ahora bien, si nos encontramos en una secuencia de parada y falla el aire de instrumentación, por ende fallará el mecanismo que abre las válvulas desaireadoras y

no habrá forma de evitarlo una vez haya comenzado la secuencia, al menos que se normalice de nuevo la presión del aire de instrumentación.

Analizando un poco el sistema, si la máquina está operando de manera normal y por alguna razón se pierde gran cantidad del aire de instrumentación, automáticamente se dispara la unidad, esto se debe a que la válvula principal y de aislamiento del gas se cerrarán, entonces se producirá una parada con las válvulas desaireadoras del compresor cerradas, lo cual se sabe es perjudicial para las unidades.

Otro mecanismo importante donde actúa el aire de instrumentación es en el movimiento de los álabes guías en la entrada al compresor, dependiendo de la condición de trabajo de la máquina ellos pueden estar posicionados desde 0° hasta un máximo de 37°. Por ejemplo durante el arranque se desea que la cantidad de aire que entre al compresor sea baja con lo cual se posicionan automáticamente a la posición que permite la menor entrada de aire. Este mecanismo por su naturaleza consume gran cantidad de aire.

Por lo que se ha mencionado hasta ahora, es importante garantizar el buen suministro de aire de instrumentación sobre todo durante la parada y el arranque de las unidades, debido a que, es en esos casos donde hay mayor consumo de este. Sin embargo para que las máquinas y sus sistemas trabajen de manera adecuada es importante mantener aire disponible en todo instante puesto no se sabe si en cualquier momento se necesite detener o arrancar una unidad.

Otra problemática del sistema de aire es la falta de instrumentación para observar el comportamiento de variables como por ejemplo la presión del aire en cualquier instante. Con dispositivos como estos, se podría facilitar el análisis de fallas para así poder prevenir sucesos no deseados.

4.2.2 Posibles Causas de Falla del Aire de Instrumentación

- ✓ Fuga imprevista en alguna de las tuberías.
- ✓ Fuga progresiva no detectada hasta el momento de falla.
- ✓ Problemas con el mecanismo de secado de aire.
- ✓ Baja de presión debido al consumo por parte de los sistemas.

De las fallas mencionadas, según los históricos de la planta, la que más ha causado problemas críticos es la del mecanismo de secado de aire. Este es un mecanismo muy vulnerable que al momento de fallar podría dejar al sistema sin aire de instrumentación. De hecho, actualmente en las unidades cuentan con una toma de aire proveniente de los compresores de servicio de planta. Esta conexión se realizó

con el fin de prevenir fallas en el sistema de aire pero la toma se hace aguas arriba del secador de aire. Entonces de igual forma, si es el mecanismo de secado es quien falla no servirá el aire de planta puesto éste está obligado a pasar por el secador de aire.

4.2.3 Cálculo de la Criticidad de los Sistemas de las Unidades de la Planta O.A.M.

4.2.3.1 Objetivo: Determinar la jerarquía que posee cada sistema que compone una unidad termoeléctrica. Los resultados esperan justificar el desarrollo del proyecto de acuerdo a la criticidad del sistema de aire.

Para realizar este estudio fue necesaria la recolección de información pertinente a los sistemas que constituyen las unidades de generación. Esta recolección de información se realizó para cada una de las unidades y durante un periodo de tiempo determinado.

4.2.3.2 Muestra: Unidades de Generación Número: 9, 10, 11, 12 y 13 de la planta Oscar Augusto Machado. Tomando en cuenta los sistemas señalados a continuación:

- Sistema de Aceite Lubricante.
- Paquete Eléctrico.
- Turbina de Combustión.
- Generador y Excitatriz.
- Paquete de arranque.
- Sistema de Aire.
 - Aire de Instrumentación.
 - Sistema de purga de aire atomización
 - Sistema de purga del múltiple de gas combustible.
 - Sistema de aire de entrada al compresor axial.
 - Sistema de aire de la turbina.
 - Sistema de aire de enfriamiento.
 - Sistema de sello de cojinetes.
- Sistema de Gas.
- Sistema de Gasoil Combustible.
- Sistema Hidráulico.

4.2.3.3 Periodo de Tiempo: La muestra se realizó utilizando la data correspondiente al año 2004. Desde el primero de enero del año 2004 hasta el 31 de

Diciembre del año 2004¹. La siguiente figura muestra el porcentaje de falla de cada sistema perteneciente a las unidades, durante el año 2004.

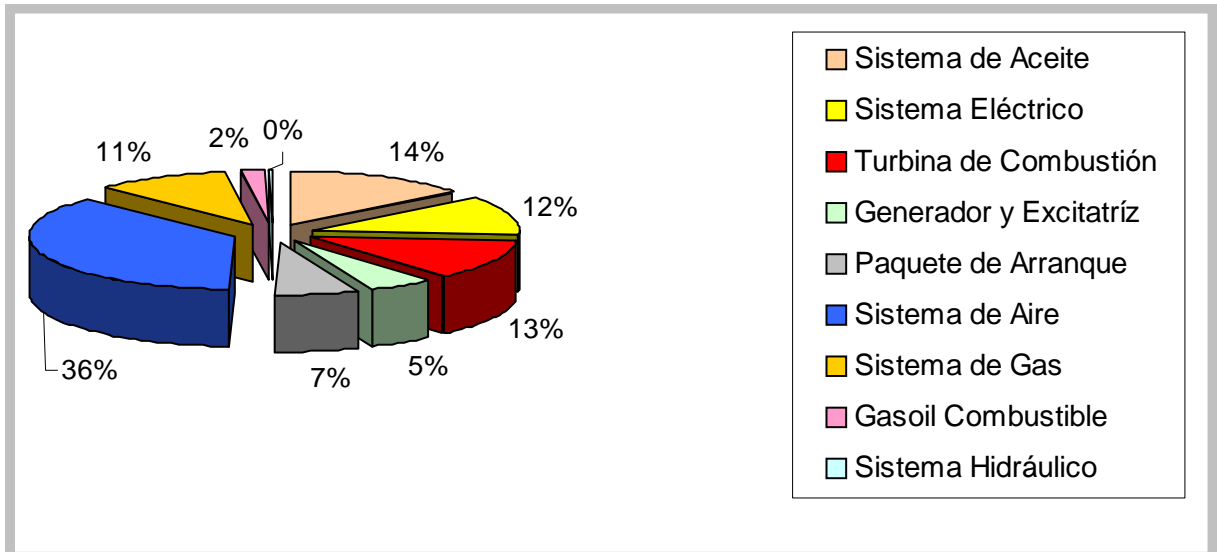


Figura 24: Porcentaje de fallas de los diferentes sistemas de las unidades de generación de la planta O.A.M. Fuente: El Autor

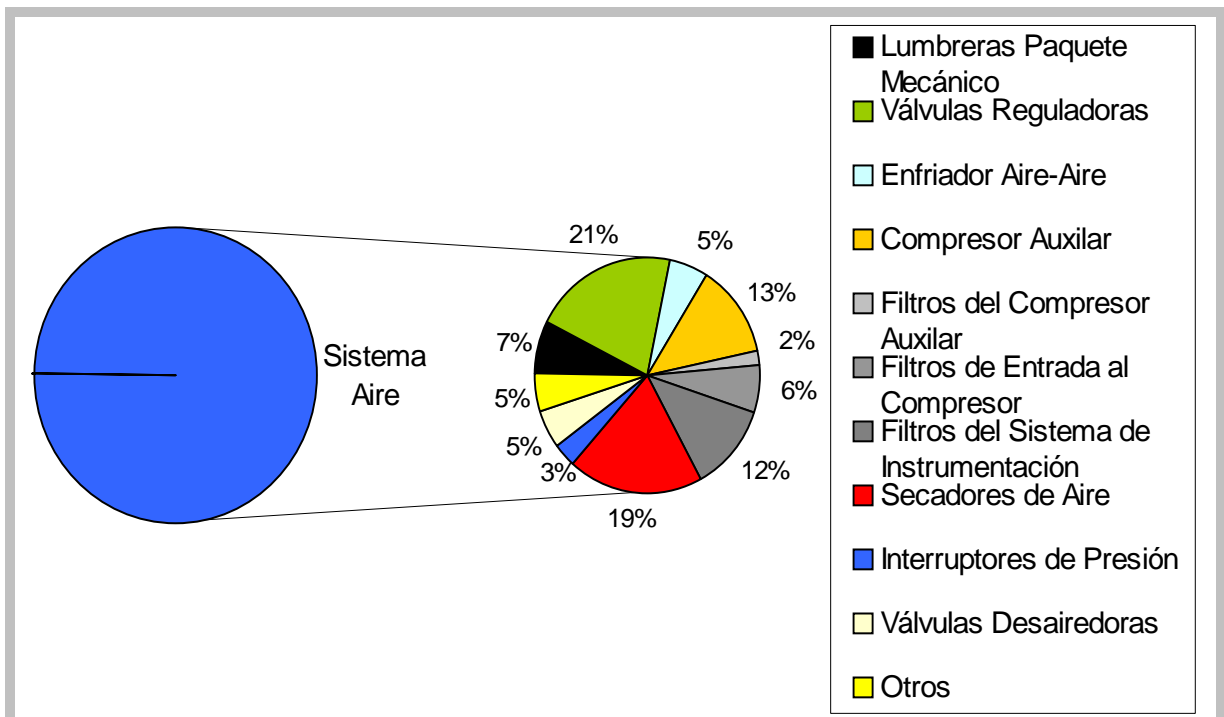


Figura 25: Porcentaje de fallas de equipos que conforman el sistema de aire. Fuente: El Autor

¹ Los datos específicos de este estudio se pueden encontrar en el Apéndice F.

Algunos datos importantes a tener en cuenta en el análisis de falla son; unidad más vulnerable frente a fallas y unidad más vulnerable frente a fallas del sistema de aire de instrumentación. En las siguientes figuras se puede observar lo mencionado:

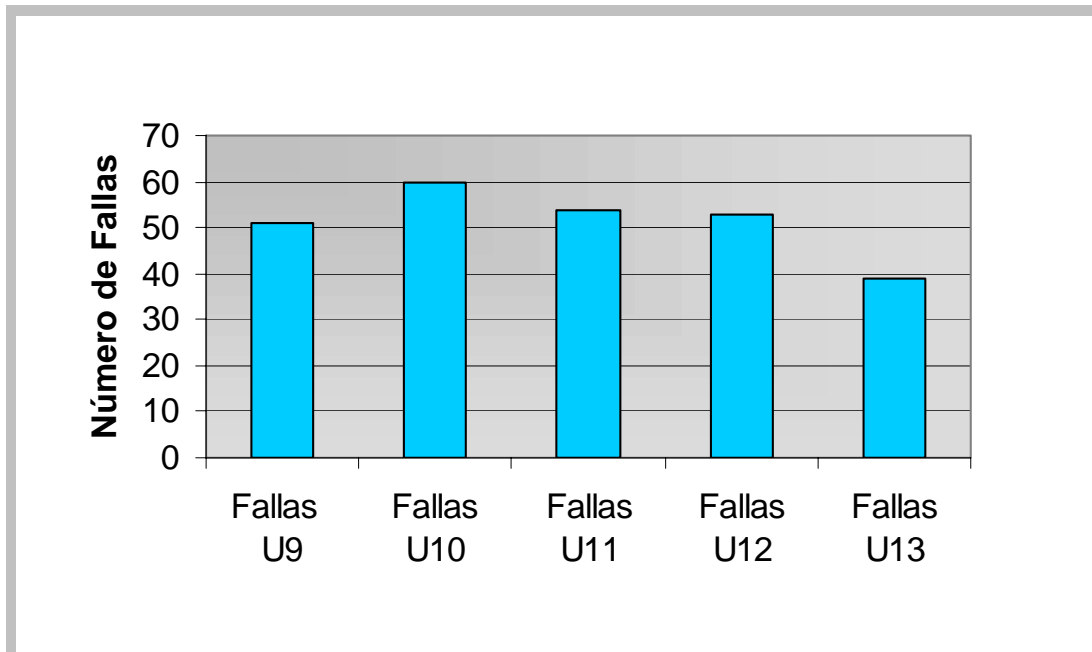


Figura 26: Gráfico de comparación del número de fallas totales entre las distintas unidades. Fuente: El Autor

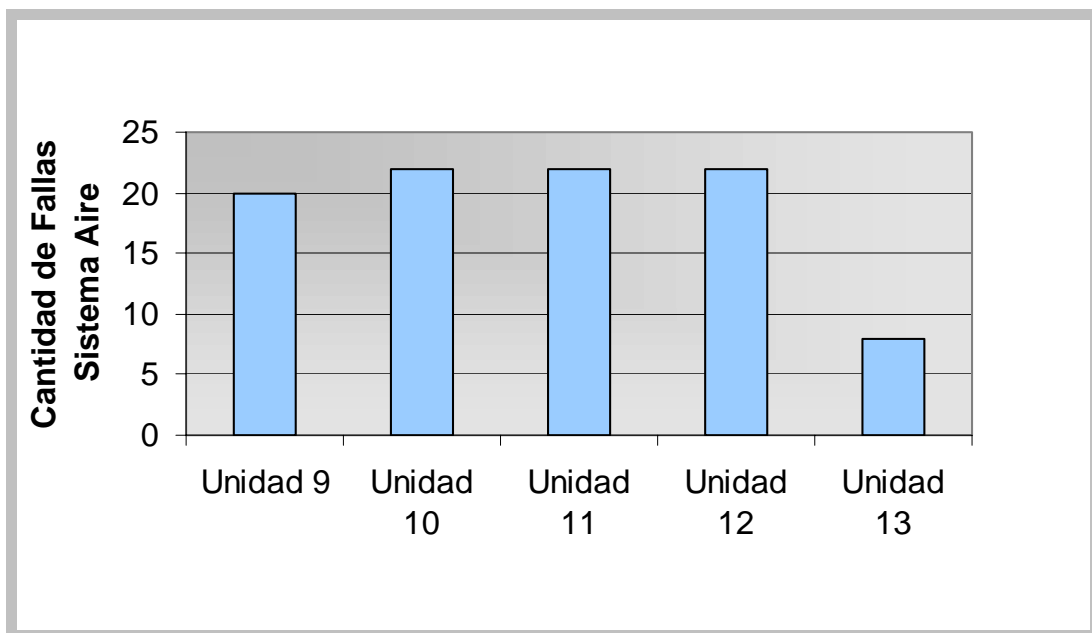


Figura 27: Gráfico de comparación del número de fallas del sistema de aire entre las distintas unidades. Fuente: El Autor

Las variables que se utilizaron para la realización del cálculo de la criticidad de los sistemas fueron las siguientes:

- Frecuencia de fallas.
- Equipos que componen el sistema.
- Horas de servicio.
- Peligrosidad en caso de falla.

4.2.3.4 Frecuencia de Fallas: La recolección de datos para determinar la frecuencia o el porcentaje de fallas de cada sistema que componen una unidad generadora, se realizó revisando detalladamente los reportes de guardia de la sala de operaciones. Apoyado en todo momento por el personal.

Según los resultados obtenidos y utilizando la siguiente tabla de transformación se coloca cada sistema en cinco (5) niveles diferentes de probabilidad de falla. Cada nivel posee una valoración diferente, el mínimo valor es uno (1) y el máximo (5). El objetivo es jerarquizar a los sistemas de acuerdo a la cantidad de puntos alcanzados, al final este sistema representará el más crítico.

Nivel de falla	Porcentaje de falla	Valoración de la falla
Casi siempre falla	30 – 40 %	5
Falla mucho	20 – 29 %	4
Falla en ocasiones	10 – 19 %	3
Falla poco	5 – 9 %	2
Casi nunca falla	0 – 4 %	1

Tabla 2: Valoración de la cantidad de fallas

Fuente: El Autor

4.2.3.5 Equipos que Componen el Sistema: Cada sistema tiene un objetivo dentro del proceso productivo de la unidad. Estos sistema están compuestos por equipos de control (válvulas, moduladores de flujo, moduladores de presión, interruptores de temperatura, presión, etc), bombas, motores eléctricos, compresores de aire partes internas que componen la turbina y otros. Cada equipo produce cambios en el sistema que se encuentra operando. Es por esto la importancia de incluirlo dentro del cálculo de la criticidad. Los sistemas que están compuestos por una gran cantidad de equipos, aumentan sus porcentajes de ocurrencia de fallas.

El sistema con mayor número de equipos es el sistema de aire con 37 equipos. Utilizando una tabla de valoración se cuantificará cada sistema de acuerdo a la cantidad de equipos que lo conforma¹.

Nivel	Cantidad de equipos	Valoración de la falla
Gran cantidad de equipos	33 – 40	5
Muchos equipos	25 – 32	4
Media cantidad de equipos	17 – 24	3
Pocos equipos	9 – 16	2
Muy pocos	0 – 8	1

Tabla 3: Ponderación de la cantidad de equipos
Fuente: El Autor

4.2.3.6 Horas de Servicio: se busca estimar la cantidad de horas que opera un sistema en un año en relación a los demás. De igual forma que en los casos anteriores es valorado entre (1) y cinco (5). La cantidad de horas que opera un sistema incrementa la probabilidad de falla, debido a que su desgaste es mayor.

Es importante recalcar, que aunque la unidad no se encuentre generando electricidad, muchos equipos y sistemas se encuentran en servicio realizando la función de rotación lenta (enfriamiento o arranque de la unidad). Si la unidad no se encuentra en rotación lenta o generando electricidad sólo el sistema de aire de instrumentación y el sistema eléctrico se encuentra operando.

Nivel de horas de servicio	Valoración
Siempre se encuentra en servicio	5
Frecuentemente	4
La mitad del tiempo	3
Poco tiempo	2
Muy poco tiempo	1

Tabla 4: Ponderación de horas de servicio
Fuente: El Autor

4.2.3.7 Nivel de Peligrosidad de Falla: dependiendo del tipo de consecuencia ocurrida cuando el sistema falla se otorga un nivel de peligrosidad. Estos tipos de unidades trabajan con altos niveles de temperatura, presión y cargas, además trabaja con combustible altamente explosivo e inflamable. Estas condiciones deben evaluarse y crear jerarquía en los sistemas que puedan producir accidentes que afecten tanto al personal como a los equipos y sistemas de las unidades.

¹ Los manómetros e interruptores de presión fueron contados como un solo equipo.

El siguiente cuadro describe 5 niveles de peligrosidad que pueden ocurrir cuando el sistema produce una falla.

Nivel de peligro	Valoración
Muerte del personal y destrucción de las unidades	5
Lesiones del personal y daños serios a equipos	4
Disparos de la unidad y lesiones leves al personal	3
Disparo de la unidad	2
Disminución del rendimiento	1

Tabla 5: Ponderación del nivel de peligro
Fuente: El Autor

4.2.3.8 Determinación del Número de Criticidad de cada Sistema:

Al final, para obtener un valor numérico de la criticidad de cada sistema se debe multiplicar las distintas ponderaciones de los sistemas por separado. De la siguiente manera:

$N_{ro} \text{ Criticidad} = \text{nivel de falla} \times \text{nivel de cantidad de equipos} \times \text{nivel de horas de servicio} \times \text{nivel de peligro}$.

Observando las valoraciones más elevadas de cada categoría se puede estimar el valor que tendría un sistema o equipo de máxima criticidad y de la misma forma un sistema de criticidad mínima.

$$\text{Criticidad Máxima} = (5) \times (5) \times (5) \times (5) = 625$$

$$\text{Criticidad mínima} = (1) \times (1) \times (1) \times (1) = 1$$

Se podría entonces dividir en tres rangos: críticos, semi-críticos y no críticos. El siguiente cuadro muestra el nivel de criticidad que tendrá cada sistema de acuerdo a su número de criticidad.

Nivel de criticidad	Valoración del sistema
Crítico	417 – 625
Semi-crítico	209 – 416
No crítico	0 – 208

Tabla 6: Nivel de Criticidad
Fuente: El Autor

4.2.3.9 Exposición de la Criticidad de los Sistemas de las Unidades de la Planta Oscar Augusto Machado

Sistemas	% de fallas	Nivel de fallas	Cantidad de equipos en el sistema	Nivel	Nivel de horas de servicio	Nivel de peligro	Número de criticidad	Valoración total del sistema
Sistema de Aceite	14	3	26	4	5	5	300	Semi - crítico
Sistema Eléctrico	12	3	6	1	5	4	60	No crítico
Turbina de Combustión	13	3	11	2	4	5	120	No crítico
Generador y Excitatriz	5	1	3	1	4	4	16	No crítico
Paquete de Arranque	7	2	5	1	2	5	20	No crítico
Sistema de Aire	36	5	38	5	5	4	500	Crítico
Sistema de Gas	11	3	25	4	5	5	300	Semi - crítico
Gasoil Combustible	2	1	26	4	1	4	16	No crítico
Sistema Hidráulico	0	1	19	3	4	3	36	No crítico

Tabla 7. Exposición de la valoración de la criticidad de los sistemas. Fuente: El Autor

4.2.4 Análisis de Resultados Obtenidos:

El sistema más crítico resultó ser el sistema de aire, la mezcla de los factores estudiados, tales como, cantidad de equipos por sistema, porcentaje de ocurrencia de fallas, entre otros. Se ha arrojado un resultado apreciable en el cuadro anterior.

El estudio de la criticidad de los sistemas que componen las unidades de generación de la planta O.A.M. busca la justificación de la implementación de este proyecto, basado en la necesidad de respaldar las unidades frente a una falla del sistema de aire. Además de la creación de un plan de mantenimiento preventivo que disminuya la ocurrencia de fallas en este sistema.

El resultado obtenido muestra la necesidad de estudiar soluciones que permitan minimizar los riesgos asociados a una falla del sistema de aire. Las soluciones serán planteadas en dos fases: comenzando con el estudio del sistema para integrarle entonces un sistema que sirva de respaldo en caso de contingencia, en segundo lugar diseñar un plan de mantenimiento preventivo maestro del sistema de aire de instrumentación, que sirva como herramienta para la disminución de ocurrencia de fallas y alargamiento de la vida útil de los equipos.

A continuación se muestra una lista de los sistemas ordenados de acuerdo a su criticidad:

Sistema	Criticidad
Sistema de aire	500
Sistema de gas	300
Sistema de aceite	300
Turbina de combustión	120
Paquete eléctrico	60
Sistema hidráulico	36
Paquete de arranque	20
Generador excitatriz	16
Sistema gasoil	16

Tabla 8: Criticidad de los sistemas

Fuente: El Autor

Así como entre los sistemas de las unidades de generación, el más crítico resultó ser el sistema de aire, dentro de este sistema, existen equipos y subsistemas que según la frecuencia de ocurrencia de fallas se hacen más o menos críticos entre ellos. Para la realización de un manual de mantenimiento preventivo que aporte mejoras al sistema, éste es uno de los aspectos a tomar en cuenta.

4.3 Ingeniería Conceptual

4.3.1 Desarrollo de Propuesta de Solución

4.3.1.1 Objetivo: Obtener un diseño conceptual final que se adapte a las necesidades del sistema y del personal, que además minimice los riesgos que ocasionaría una falla en el sistema de aire.

4.3.1.2 Propuesta Aprobada por la Gerencia de Operaciones

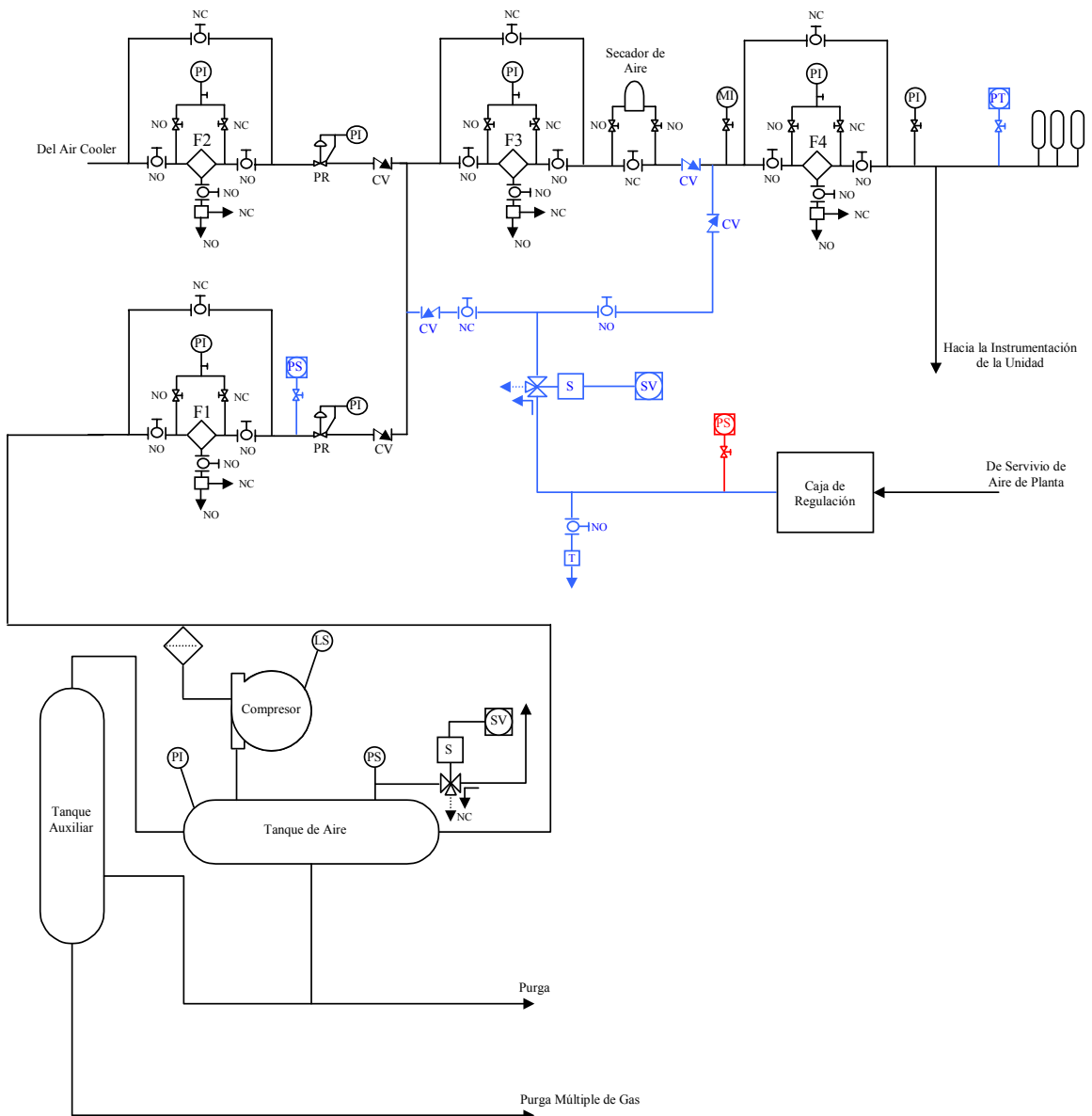


Figura 28: Diseño Final
Fuente: El Autor

4.3.1.3 Descripción de Operación del Sistema de Respaldo

El aire proveniente de la casa de compresores Atlas Copco estará siempre disponible para el caso que sea necesario, a una condición dada de presión. Para ello se utiliza una caja de regulación que no es más que una válvula reguladora de presión.

Con el objetivo de mejorar las condiciones del aire se colocará una válvula desaireadora después de la caja de regulación, que servirá de trampa de agua, eliminando excesos de humedad del aire.

A fin de mejorar los mecanismos de vigilancia del sistema y prevención de fallas, se colocará un interruptor de presión que avisará cuando los niveles de presión del aire de servicio de planta estén por debajo de lo ajustado en el interruptor.

Para el control de la puesta en operación del sistema de respaldo se utilizará una válvula solenoide que se abrirá, a través, de una señal proveniente de un transmisor de presión que se colocará aguas abajo del secador de aire. Cuando el transmisor cense una presión por debajo de un límite preestablecido, éste enviará una señal a la válvula solenoide que abrirá para intentar mantener niveles de presión que mantengan el sistema operativo.

Aguas abajo de la válvula solenoide existen dos tomas:

- 1) **Aguas abajo del secador de aire:** Esta será la toma que por defecto siempre estará disponible, para ello se colocará una válvula de paso normalmente abierta después de la válvula solenoide. Debido a que, existen muchas fallas causadas por el secador de aire, se concibe como solución inmediata una toma aguas debajo de éste, que evitará que los sistemas se queden sin aire de instrumentación en caso de falla del secador de aire.
- 2) **Aguas arriba del secador de aire:** Esta toma no estará disponible por defecto, ya que después de la válvula solenoide habrá una válvula de paso normalmente cerrada, es decir, para que entre en funcionamiento la entrada de aire antes del secador de aire se deberá ir a campo para abrir la válvula normalmente cerrada y cerrar la normalmente abierta. Debido a que las condiciones del aire deben garantizarse (humedad, presión, temperatura, suciedad, etc) se concibe también una toma antes del filtro F3 y del secador de aire, para el caso de presentarse una falla por ejemplo en el compresor auxiliar exista un respaldo a través del aire de servicio de planta.

4.4 Propiedades Físicas del Aire para las Condiciones de Operación

Las propiedades corrosivas y dañinas del agua son bien conocidas. El aire sin tratar a presión atmosférica contiene importantes cantidades de agua y otros contaminantes, como restos de aceite y partículas de suciedad. La compresión del aire aumenta la concentración de humedad y otros contaminantes. Si no se elimina del sistema, esta combinación corrosiva tiene un efecto perjudicial sobre los equipos neumáticos que provoca tiempos de parada innecesarios, deteriora los productos fabricados y reduce la vida útil de los equipos.

Bajo esta premisa se extrae la necesidad de garantizar el suministro de aire a los equipos neumáticos con buenas condiciones de humedad y limpieza para resguardar la vida útil de los equipos. Los valores de humedad y limpieza estarán ligados a la aplicación específica del aire de control.

La cantidad de humedad depende en primer lugar de la humedad relativa del aire, que a su vez depende de la temperatura del aire y de las condiciones climatológicas.

La humedad absoluta es la cantidad de agua contenida en un m³ de aire.

El grado de saturación es la cantidad de agua que un m³ de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada. La humedad es entonces del 100% , como máximo (temperatura del punto de rocío).

$$\text{Humedad Relativa} = \text{Humedad absoluta} / \text{grado Saturación} * 100$$

Para regular la calidad del aire se utilizan filtros de distintos tipos y secadores de aire. El filtro tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada.

Los filtros de aire en general cuentan con un sistema de purga automática, de forma que, el agua condensada y suciedad sea separada por el filtro. De vez en cuando se debe vaciar la purga, porque de lo contrario el agua será arrastrada por el aire comprimido hasta los elementos de mando.

Lo mencionado anteriormente son algunos de los factores que se deben regular en la producción de aire comprimido. El sistema a diseñar estará concebido de forma tal que actúe sólo en casos de verdadera emergencia, por lo tanto, se pudieran sacrificar mientras perdure la emergencia las condiciones ideales del aire para control

neumático. Se debe tener en cuenta una propiedad que si es de vital importancia para el funcionamiento de los sistemas en caso de contingencia esta es, la *presión del aire*.

4.5 Verificación del Uso de los Compresores Atlas Copco

El procedimiento que se llevará a cabo será el de *selección de compresores* y al final se comparará los resultados obtenidos con los equipos instalados en la actualidad.

4.5.1 Modelo

Compresor de tornillo lubricado *GA22-125*

Características técnicas

Presión máxima = 8.8 bar = 128 psia

Caudal teórico suministrado = 3 m³/min

Potencia del motor = 30 Hp

Nivel sonoro = 74 db(A)

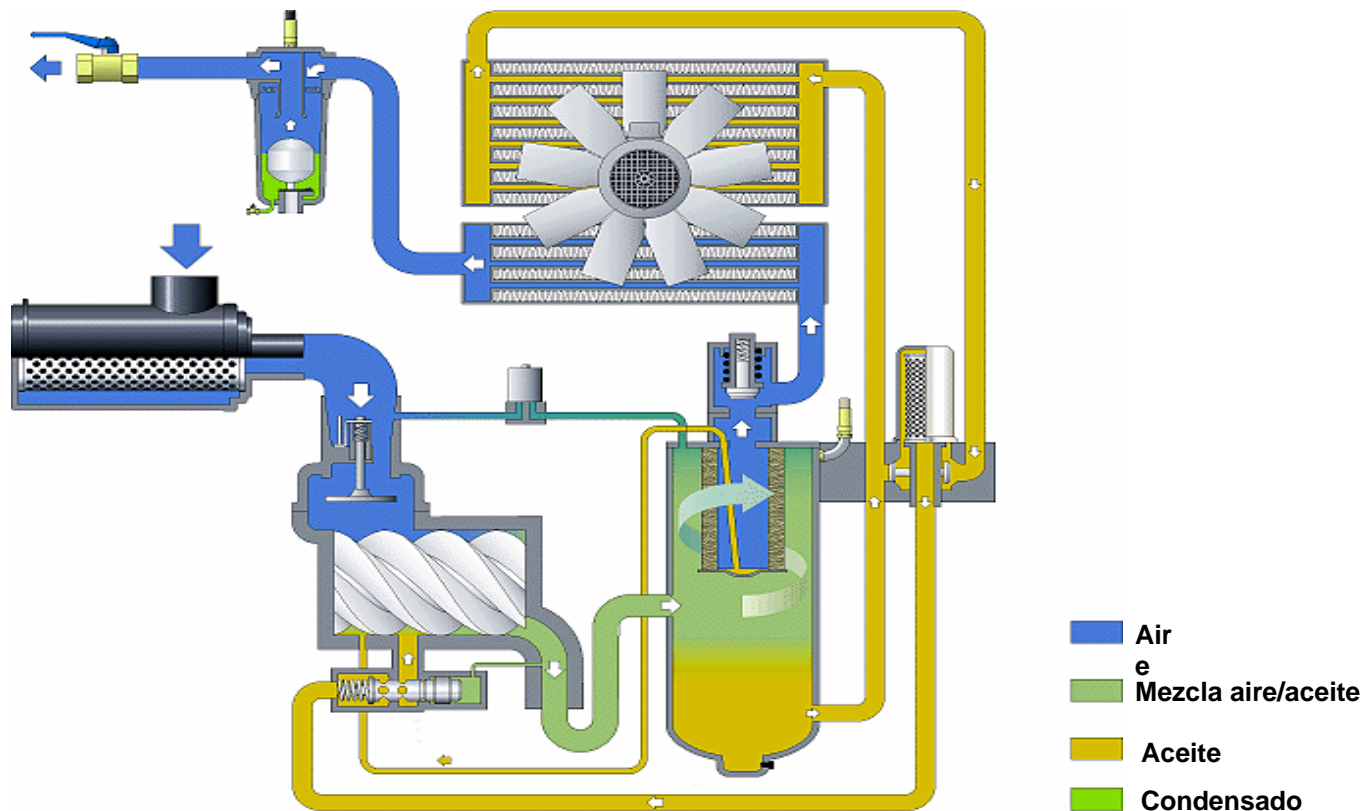


Figura 29: Diagrama de funcionamiento de los compresores GA
Fuente: Atlas Copco. CD Interactivo

4.5.1.1 Principio de funcionamiento

Los compresores de tornillo son máquinas donde los rotores helicoidales engranados entre sí y ubicados dentro de una carcaza, comprimen y desplazan el gas hacia la descarga.

Los rotores pueden no tener el mismo número de lóbulos. Por ello en general el rotor principal tiene menos lóbulos y por ello opera a mayor velocidad.

4.5.1.2 Características de Operación

La carencia de válvulas de aspiración y descarga y la inexistencias de fuerzas mecánicas desequilibradoras, hacen que el compresor de tornillo pueda funcionar a levadas velocidades.

En consecuencia, combina una elevada capacidad con reducidas dimensiones. Los compresores de tornillo del tipo seco, utilizan engranajes de sincronización externos para los rotores macho y hembra. Al no haber contacto entre los rotores ni entre ellos y la carcaza, no se necesita ningún tipo de lubricación dentro de la cámara de compresión. El aire suministrado es exento de aceite.

Para mantener el rendimiento del compresor en pequeñas capacidades se necesitan velocidades de eje muy elevadas. Sin embargo, inyectando aceite en la cámara de compresión se pueden utilizar velocidades más reducidas. El aceite inyectado cumple tres funciones principales:

- Cerrar las holguras internas
- Enfriar el aire durante la compresión
- Lubricar los rotores

4.5.2 Calidad del Aire Comprimido

Capacidad que tiene un bien o servicio para satisfacer las expectativas del usuario.

4.5.2.1 ¿Qué Factores Determinarían la Calidad del Aire Comprimido?

- Presión
- Presencia de partículas sólidas
- Presencia de Aceite
- Condensado

Contaminante	ISA	API
Sólidos	Máximo 3 μm	Máximo 5 μm
Condensado	Punto de rocío por lo menos 10°C por debajo de la temperatura de operación	Punto de rocío por lo menos 5,6°C grados por debajo de la temperatura de operación
Aceite	Nunca mayor a 1 ppm	No permitido

Tabla 9: Características normalizadas del aire de instrumentación

4.5.2.2 Condiciones estándar para Atlas Copco

$P_s = 1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psia}$

$T_s = 20^\circ\text{C} = 293.15 \text{ K}$

4.5.3 Selección de Compresores y Equipos Auxiliares

4.5.3.1 Compresores

La selección de un compresor implica una escogencia, basada en un estudio sobre los requerimientos de una industria o taller, así como un estudio del factor económico. A continuación se muestra un procedimiento para selección del compresor sin tomar en cuenta factores económicos.

4.5.3.1.1 Referencia: Información técnica recopilada a través de las especificaciones técnicas aportadas en catálogos de fabricantes (capacidad, presión de trabajo, potencia eléctrica, calidad del aire, limitaciones, disponibilidad en el mercado, etc)

4.5.3.1.2 Aplicaciones:

Utilizados en plantas

Utilizados en procesos

4.5.3.1.3 Capacidad de Aire Requerida por el Compresor:

4.5.3.1.4 Caudal: Por caudal entiendo la cantidad de aire que suministra el compresor. Existen dos conceptos.

1. El caudal teórico
2. El caudal efectivo o real

El caudal efectivo depende de la construcción del compresor y de la presión. Es interesante conocer el caudal efectivo del compresor. Sólo éste es el que acciona y regula los equipos neumáticos. Los valores indicados según las normas representan valores efectivos. Por ejemplo DIN 1945.

El caudal se expresa en m³/min ó m³/h. No obstante, son numerosos los fabricantes que solamente indican el caudal teórico.

Para conocer el caudal de aire comprimido que se requiere del compresor se debe proceder de la siguiente manera:

Si se conoce el consumo de cada equipo o sistema:

a.- Obtener el caudal real, que es el suma del consumo específico de cada herramienta utilizada en la planta multiplicada por el factor de uso correspondiente y el factor de simultaneidad.

$$Q_{\text{real}} = f_s * \sum (\text{consumo}_i * f_{ui})$$

$$\text{Consumo}_i = \text{consumo}_{\text{teorico}_i} * P_s * T / (P * T_s)$$

Donde:

P_s y T_s son la presión y temperatura estándar (absolutos)

P y T presión y temperatura de operación (absolutos)

f_s = factor de simultaneidad

f_{ui} = factor de uso

b._ Obtener carga total

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{real}} * (1 + f_e + f_f)$$

f_e = factor de expansión (según Atlas Copco 30%)

f_f = factor de fugas (se debe tomar alrededor de 15%)

Al obtener el valor de carga total se compara con el valor de las especificaciones de los compresores de planta.

Si se conoce un consumo promedio general del sistema de aire de instrumentación (Este es el procedimiento llevado a cabo en esta investigación):

En este caso se debe proceder como sigue, como el sistema considerado es un sistema previamente diseñado se cuenta con información bibliográfica que expone un valor aproximado del consumo promedio del sistema de aire de instrumentación en condiciones de trabajo para cada unidad de generación.

Suposiciones:

- Se tomará en cuenta que sólo una unidad a la vez consumirá aire de los compresores de planta.
- Las cinco unidades se consideran idénticas.
- Las propiedades del aire se consideran fijas a unas condiciones llamadas condiciones de trabajo.
- Se considera un valor constante para pérdidas por fugas.
- Se considera el aire como gas ideal.

De la ecuación de estado:

$$PQ = m RT$$

Asumiendo que entre cualesquiera dos estados la masa es invariable

$$MR = PsQt / Ts = PQr / T$$

Despejando Qt

$$Qt = Qr * P * Ts / (T * Ps)$$

Ps y Ts: Presión y temperatura a condiciones estándar

P y T: Presión y temperatura a condiciones de operación

$$\text{Consumo real} = \text{consumo teórico} * Ps * T / (P * Ts)$$

$$\text{Consumo real} = 0,162 \text{ m}^3/\text{min}^1$$

A condiciones P = 100 psig = 6,90 bar; T = 308,15 K

Recordando

¹ Valor Obtenido de Westinghouse Instruction book. Installation and Inspection W501D. 2.7

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{real}} * (1 + f_e + f_f)$$

f_e = factor de expansión (según Atlas Copco 30%)

f_f = factor de fugas (se debe tomar alrededor de 15%)

$$Q_{\text{total}} = 0,162 \text{ m}^3/\text{min} (1 + 0,30 + 0,15) = 0,235 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$P_s = 1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psig}$$

$$T_s = 20^\circ\text{C} = 293.15 \text{ K}$$

$$\text{Consumo teórico} = 0,235 \text{ m}^3/\text{min} * 6,90 \text{ bar} * 293,15 \text{ K} / (1 \text{ bar} * 308,15 \text{ K})$$

$$\text{Consumo teórico} \approx 1,543 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Consumo total real} \approx 0,235 \text{ m}^3/\text{min}$$

Se debe verificar que la capacidad teórica de los Compresores Atlas Copco sea mayor al caudal total teórico de aire consumido.

$$\text{Capacidad compresor teórica } Q_t = 3 \text{ m}^3/\text{min}^1$$

$$\text{Capacidad real} = 3 \text{ m}^3/\text{min} * 1 \text{ bar} * 308,15 \text{ K} / (6,90 \text{ bar} * 298,15 \text{ K})$$

$$\text{Capacidad compresor real} = 0,449 \text{ m}^3/\text{min}$$

Comparando el valor del caudal consumido con la capacidad de los compresores GA 22-125, se determina que desde el punto de vista de capacidad estos compresores cumplen con los requerimientos.

$$Q_{\text{teórico del compresor}} > \text{Consumo teórico}$$

Se debe recordar que el estudio se realizó tomando en cuenta que sólo consumirá aire una unidad a la vez, si se observa el valor de consumo teórico de aire por unidad se puede notar que si dos o más unidades de generación llegaran a necesitar del respaldo de los compresores de planta al mismo tiempo no se garantiza el buen cumplimiento del sistema de emergencia desde el punto de vista de caudal de aire suministrado.

¹ Valor obtenido de las especificaciones técnicas de los compresores Atlas Copco, Modelo GA.

4.5.3.1.5 Presión: Se distinguen dos valores de presión.

La presión de servicio, es la suministrada por el compresor o acumulador y existe en las tuberías que alimentan a los consumidores. Se expone un valor promedio:

$$P_{\text{servicio}} = 7,8 \text{ bar} = 113,5 \text{ psig}$$

La presión de trabajo, es la necesaria en el puesto de trabajo considerado.

En forma general se asume la instalación de la siguiente manera:

- 5 Grandes puntos de servicio (cada punto representa una unidad generadora)
- 1 pequeño punto de servicio (representado por los equipos de servicio)

En cada uno de los cinco grandes puntos de servicio se necesita al menos una presión de 5,52 bar (80 psig) esta presión es un valor sobredimensionado como normativa de Siemens Westinghouse, “en todo momento debe mantenerse una presión de por lo menos 70 psig”¹. Como en el punto de servicio para equipos de mantenimiento se necesita una presión menor no es considerado para este procedimiento.

La mayor caída de presión del sistema de aire de instrumentación, por parte de equipos o sistemas de las unidades de generación es causada por las válvulas desaireadoras del compresor axial. Estos valores de caídas de presión fueron determinados experimentalmente en las unidades de generación tomando la lectura en los manómetros antes de activar cada equipo o sistema por separado y después de activados.

Equipo o sistema	Máx caída	Arranque	Parada	Acoplada
Para ambos combustibles				
Válvula desaireadora de alta presión	25 psig	X	X	
Válvula desaireadora de baja presión	25 psig	X	X	
Aire de sello y álabes guías	9 psig	X	X	X
Aire de enfriamiento de conductores	5 psig	X	X	X
Filtros	20 psig	X	X	X
Tuberías (por norma de Atlas Copco)	1,5psig	X	X	X
Sólo Gas				
Purga del múltiple de gas	5 psig		X	
Válvula de aislamiento	8 psig	X		X

¹ Westinghouse Instruction book. Installation and Inspection W501D. 2.7

Sólo Gasoil

Válvula de purga continua	10 psig	X	X	X
Válvula de purga de atomización	18 psig		X	

En general las condiciones más críticas son las de parada y arranque sin discriminación por combustible. Si discriminamos por combustible la condición más crítica será parada usando gasoil.

Para conocer la presión mínima requerida en el sistema de aire de instrumentación se toma el equipo que causa la mayor caída de presión y se le suman las caídas de presión de los filtros y de la tubería.

Presión necesaria en la válvula desaireadora	25 psig
Caídas de presión en las tuberías	1.5 psig
Caída de presión en accesorios	9 psig
Caída de presión en los filtros	<u>20 psig</u>
Mínimo requerido a la entrada de cada unidad	55,5 psig

Según los resultados, se tiene una holgura de 24,5 psig entre la máxima presión requerida y la mínima presión disponible (en condiciones normales de operación) lo cual le otorga al sistema mayor confiabilidad.

A la entrada de cada unidad debe haber disponible mínimo 80 psig, entonces solo falta conocer las pérdidas de presión desde la entrada a la unidad hasta la salida del compresor.

Presión mínima aceptada a la entrada de la unidad	80 psig
Pérdida de presión en la tubería	2 psig
Accesorios	5 psig
Filtro	<u>5 psig</u>
<i>Mínimo requerido a la salida del compresor</i>	92 psig

El rango de trabajo de los compresores Atlas Copco está ajustado según un presostato entre 100 y 120 psig de presión, queda demostrado que desde el punto de vista de la presión, estos compresores se adaptan adecuadamente. De igual forma que para el caso anterior sólo se garantiza que hará frente a emergencia de sólo una unidad la vez.

4.5.3.2 Secador de Aire

El principio básico de los secadores es enfriar el aire que sale del compresor hasta que alcance una temperatura igual o menor que la del punto de rocío, eliminando así una gran parte del vapor de agua contenido en el aire.

Existen dos tipos de secadores de aire altamente utilizados:

- a) Secadores frigoríficos: Son utilizados en aquellas industrias donde la calidad del aire comprimido es un factor determinante para lograr una buena eficiencia.
- b) Secadores por adsorción: Son utilizados en aquellas instalaciones donde se requiere un aire comprimido realmente seco y donde la temperatura del medio exterior es menor a 0°C.

El secador utilizado en la casa de compresores atlas Copco de servicio de planta es del tipo frigorífico.

Modelo	FD60
Caudal de aire	134 cfm = 3,822 m ³ /min
Presión máxima	20 bar = 290 psig
Máxima caída de presión	4,93 psig
Mínimo punto de rocío a presión del secador	4°C
Consumo de potencia	1,1 Hp

Características más importantes:

- Puntos de rocío bajos
- Separación de humedad muy eficaz con drenaje automático

Desde el punto de vista de funcionamiento del secador de aire es notable que éste cumple cabalmente con las exigencias de calidad para un sistema de instrumentación. El punto desfavorable es la ubicación de la casa de compresores con respecto a las unidades, la casa de compresores Atlas Copco se encuentra un poco alejada de las unidades pudiendo producir cierta condensación.

Fue posible corroborar en campo que el secador FD60 cumple con las exigencias del sistema, haciendo uso del indicador de humedad ubicado dentro del paquete mecánico de cada unidad. Se hizo pasar aire proveniente de los compresores de planta a la unidad 9 (unidad más alejada de la casa de compresores) y sin pasar por el secador propio de la unidad se observó que el indicador de humedad mostraba aire seco. Es oportuno recordar que el sistema de respaldo fue diseñado bajo la condición de que será usado sólo en estrictos casos de emergencia y durante un corto periodo de tiempo.

Según las normas ISO y API reflejadas en la tabla 9 también se cumplen los requisitos debido a que la temperatura de operación es de aproximadamente 35°C y

este valor está a mas de 10°C por encima de la temperatura de punto de rocío del secador.

4.5.3.3 Filtros

Existen diferentes tipos de filtros y diferente aplicación de los mismos. Por lo tanto se debe hacer un estudio de las necesidades de la instalación y del tipo de aire requerido en los puntos de utilización.

Dependiendo del uso se adoptan como norma las siguientes cantidades de aceite (Basadas en las normas ANSI, SAE y ISA para instalaciones neumáticas).

En cuanto a cantidad de aceite

Tipo de Uso	Cantidad de Aceite
Industria común	Entre 5 y 25 mg/m ³
Industrial especial (pintura e instrumentación)	Hasta 1 mg/m ³
Delicados (consumo humano, alimentos, etc)	Exento de aceite

Tamaño de las partículas sólidas

En aplicaciones generales partículas no mayores a una micra

Para el tipo de aplicación es necesario que el aire no contenga más de 0,3 mg/m³, este valor es un poco más conservador que el mostrado en la lista anterior debido a que las tendencias de los últimos tiempos, según Atlas Copco va dirigido a conservar aún más la instalación y garantizar lecturas fiables de los equipos de instrumentación, para ello se verifica si el filtro instalado en la casa de compresores es adecuado.

Modelo	Atlas Copco DD44
Capacidad	2,64 m ³ /min (condiciones estándar Atlas Copco)
Máxima presión	232 psig
Máxima temperatura	66°C

Características:

Filtros coalescentes y de partículas para protección general, que eliminan agua y aceite hasta 0,1 mg/m³ (0,1 ppm) y partículas de hasta 1 micra.

De acuerdo a la calidad del aire con respecto a cantidad de aceite, la instalación de compresores Atlas Copco cumple las exigencias según la norma ISA

pero no cumple con las exigencias del sistema según API, pero tomando en cuenta que este sistema se usará bajo estrictas condiciones de emergencia, entonces es posible permitir bajo estas circunstancias una máxima cantidad de aceite de 1 mg/m^3 .

4.5.3.4 Capacidad del Depósito

La capacidad del depósito está determinada según el tipo de regulación. Esto es debido a que las variaciones de carga para los compresores tienen como norma, que el compresor no debe arrancar más de 10 veces por hora y en ningún caso más de 15 veces por hora.

La capacidad del depósito está determinada por el tipo de regulación que presenta y puede calcularse con las siguientes ecuaciones aproximadas¹.

Regulación	Fórmula
Válvula piloto	$V \geq 30P$
Regulación automática con presostato	$V \geq 35P$
Regulación automática con presostato y contador	$V \geq 40P$
Regulación automática con arrancador ΔY	$V \geq 75P$

Donde:

V = volumen en litros

P = potencia del compresor en CV

Estas ecuaciones sirven como referencia para determinar una manera aproximada el volumen del depósito y son obtenidas de la experiencia.

4.5.3.5 Llenado y Vaciado del Tanque

A continuación se deduce una ecuación para determinar el tiempo de vaciado de un tanque, suponiendo un proceso isotérmico.

La hipótesis de que el proceso sea isotérmico, es debido a que durante el vaciado o llenado de un tanque la variación de temperatura es muy leve y además como el volumen del depósito depende del tipo de regulación existente, la cual por ningún motivo deberá permitir que el compresor arranque más de 10 veces por hora, es decir, que el intervalo de tiempo de arranque no deberá ser menor a 6 minutos.

Como este tiempo de 6 minutos es relativamente corto, se puede suponer que no ocurre una variación de temperatura dentro del tanque, la temperatura de entrada es igual a la de salida para el llenado o vaciado.

¹ Referencia: Manual de aire comprimido y sus aplicaciones

Suposiciones:

- Proceso isotérmico.
- El sistema trabajará bajo las mismas condiciones de operación durante largos periodos de tiempo.
- Densidad del aire constante.
- Conservación de la masa.
- Gas ideal.

4.5.3.5.1 Vaciado del tanque

Partiendo de la ecuación de continuidad:

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \left[\int_{vc} \rho dv \right] + \int_{sc} \rho V dA$$

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \int_{vc} dv \right] + \int_{sc} \rho V dA$$

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} [\rho V] + \rho_1 V_1 A_1$$

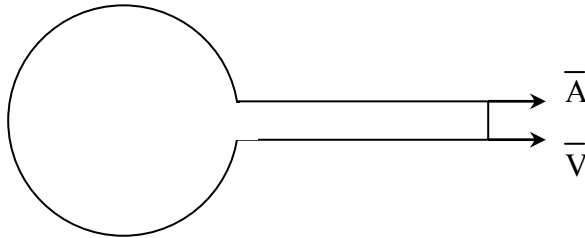


Figura 30: Superficie y Volumen de control
Fuente: El Autor

$$V \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\rho_1 V_1 A_1 \Rightarrow \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\rho_1 V_1 A}{V_{\text{tanque}}}$$

Pero

$$P = \rho RT \Rightarrow \rho = \frac{P}{RT}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \left[\frac{1}{RT} \right] \frac{\partial P}{\partial t}$$

Sustituyendo

$$\left[\frac{1}{RT} \right] \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\rho_1 V_1 A_1}{V_{\text{tanque}}}$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = - \frac{RT \rho_1 V_1 A_1}{V_{\text{tanque}}}$$

Debido a $P = P(t)$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\partial P}{\partial t} = - \frac{RT \rho_1 V_1 A_1}{V_{\text{tanque}}}$$

Sabiendo

$$A_1 V_1 = Q(\text{compresor})$$

$$\int dP = - \frac{RT \rho_1 V_1 A_1}{V_{\text{tanque}}} \int dt$$

$$P_2 - P_1 = - \frac{RT \rho_1 V_1 A_1}{V_{\text{tanque}}} t$$

ρ = densidad

V = volumen

Q = caudal de aire

T = temperatura del aire

R = constante del gas

t = tiempo

P_2 = presión dentro del tanque al cabo del tiempo t

P_1 = presión inicial del tanque para $t = 0$

4.5.3.5.2 Llenado del tanque

Para el llenado del tanque se puede deducir una ecuación similar

$$P_2 - P_1 = \frac{RT \rho_1 V_1 A_1}{V_{\text{tanque}}} t$$

4.5.3.6 Cálculo del volumen del depósito:

4.5.3.6.1 Se determina el tipo de regulación que se va a emplear y el gradiente de presión que se permitirá alcanzar dentro del depósito.

4.5.3.6.2 El tiempo mínimo de arranque de un compresor es igual a 6 minutos¹

4.5.3.6.3 Esta parte depende del número de compresores con los que se cuenta en la instalación.

t_v = tiempo de vaciado

t_{ll} = tiempo de llenado

t = tiempo de arranque $t > 6$ min

Para dos compresores

$$t = t_{ll} + 2 t_v$$

4.5.3.6.4 Cálculo de la densidad promedio

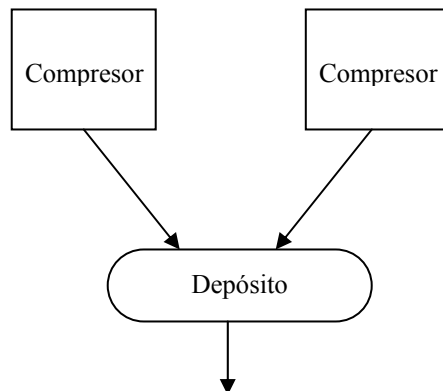


Figura 31: Diagrama Compresores y Depósito
Fuente: El Autor

P_1 = presión inicial del tanque = 100 psig = 689500 Pa

P_2 = presión del tanque al cabo del tiempo t_v = 120 psig = 827400 Pa

R = 286,9 J / Kg K

T = 50°C = 323,15 K

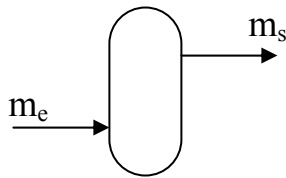
$$\rho = \frac{(P_1 + P_2)}{2RT} = \frac{689500 + 827400}{2 * 286,9 * 323,15} = 8,18 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$\rho = 8,18 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

¹ Referencia: Manual de aire comprimido y sus aplicaciones

4.5.3.6.5 Utilizando la ecuación de vaciado del tanque demostrada anteriormente se obtiene una expresión del tiempo de vaciado en función del volumen del tanque.

$$P_2 - P_1 = -\frac{RT\rho_1 V_1 A_1}{V_{\text{tanque}}} t_v \Rightarrow t_v = \frac{(P_1 - P_2)V}{RT\rho Q_e}$$



m_s : masa de aire que sale
 m_e : masa de aire que entra
 Q_s : caudal que sale (caudal consumido a condiciones de operación)
 Q_e : caudal que entra (caudal del compresor a condiciones de operación)

Figura 32: Balance de Masas
 Fuente: El Autor

$$m_s = \rho Q_s$$

$$m_e = \rho Q_e$$

$$Q_s = 0,235 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$Q_e = 0,449 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$m_s = 8,18 * 0,235 * \frac{1}{60} = 0,0320 \text{ Kg aire / s}$$

$$m_e = 8,18 * 0,449 * \frac{1}{60} = 0,0612 \text{ Kg aire / s}$$

$$\Delta m = m_e - m_s = 0,0612 - 0,0320 = 0,0292 \text{ Kg aire / s}$$

$$\Delta M = \Delta m t_{II}$$

Recordando la ecuación de estado $PV = MRT$

$$\Delta(PV) = \Delta(MRT)$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = -689500 + 827400$$

$$\Delta P = 137900 \text{ Pa}$$

$V = \text{constante}$

$RT = \text{constante}$

$$\Delta PV = RT \Delta M \Rightarrow \Delta PV = RT \Delta m t_{II}$$

entonces se tiene

$$t_{II} = \frac{V\Delta P}{RT\Delta m} \quad y \quad t_v = \frac{(P_1 - P_2)V}{RT\rho Q_e}$$

Sustituyendo en la ecuación $t = t_{II} + 2t_v$

$$t = \frac{V\Delta P}{RT\Delta m} + 2\frac{(P_1 - P_2)V}{RT\rho Q_e} \quad \text{despejando V}$$

$$V = \frac{\rho RT\Delta m Q_e t}{(\rho Q_e + 2\Delta m)\Delta P}$$

$t > 6$ min para nuestro caso se tomará $t = 6$ min = 360 s

$$R = 286,9 \text{ J / Kg K}$$

$$\rho = 8,18 \text{ Kg / m}^3$$

$$\Delta m = 0,0292 \text{ Kg aire / s}$$

$$Q_e = 0,0075 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\Delta P = 137900 \text{ Pa}$$

$$T = 60 \text{ }^\circ\text{C} = 323,15 \text{ K}$$

$$V = \frac{8,18 * 286,9 * 323,15 * 0,0292 * 0,0075 * 360}{(8,18 * 0,0075 + 2 * 0,0292)137900}$$

$$V \text{ depósito de aire} = 3,63 \text{ m}^3$$

El tanque de aire disponible para los compresores Atlas Copco es el siguiente:

Marca: Atlas Copco

Modelo: SMT121608

Presión de trabajo: $12,93 \text{ Kg / cm}^2 = 117,275 \text{ psig}$

Presión de prueba: $16,81 \text{ Kg / cm}^2 = 152,466 \text{ psig}$

Capacidad = 500 litros = $0,5 \text{ m}^3$

Si se estuviera diseñando el sistema bajo condiciones de operación continuas sería muy importante cumplir la condición de que el volumen calculado teóricamente sea menor o igual al volumen disponible en el tanque, pero como es conocido la operación del sistema tendrá lugar bajo condiciones de emergencia entonces el valor de consumo de aire no será un valor continuo durante largos periodos de tiempo, entonces bajo esta premisa se puede aceptar un valor un poco por debajo del valor calculado.

Volumen del depósito calculado bajo condiciones de operación continuas es igual a $V = 3,63 \text{ m}^3$ tomando en cuenta que las condiciones de emergencia no ocurren frecuentemente y que además no deben perdurar en el tiempo, es decir, que el sistema trabajará sólo bajo condiciones específicas entonces es posible aceptar un volumen del depósito de al menos el 60% del volumen calculados según las condiciones de operación que es igual a $V = 1,53 \text{ m}^3$ tanto por razones económicas como por razones de operación. Este valor se considera conservador tomando en cuenta las condiciones de operación del sistema, pero es necesario mantenerlo debido a que no se debe poner en riesgo ni a los compresores ni las unidades de generación que dependen del sistema de emergencia

V depósito aceptado $\geq 1,452 \text{ m}^3$ un valor comercial es de $1,5 \text{ m}^3$ que equivale a 1500 litros lo que es posible cumplirlo con depósitos dispuestos en serie. Comparando con el volumen disponible con el calculado hace falta por lo menos 1000 litros, por lo cual se hace necesaria la colocación de esta capacidad adicional, bien sea, a través de 2 depósitos en serie de 500 litros cada uno o bien de un depósito adicional de 1000 litros. La primera opción es considerada la más óptima tomando en cuenta la disponibilidad en el mercado de depósitos de aire.

4.5.4 Análisis de Resultados Obtenidos

Se estima que en condiciones ideales el sistema de emergencia no debería entrar en funcionamiento, esto quiere decir que las labores de mantenimiento deben ser estrictas para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas regulares de suministro de aire y el eventual uso del sistema de respaldo de aire de instrumentación.

Es oportuno señalar que las modificaciones planteadas son necesarias para que el sistema de respaldo funcione adecuadamente pero no serán tomadas en cuenta dentro del estudio del proyecto sino como recomendaciones para el funcionamiento adecuado del sistema, debido a que no estaba prevista ninguna modificación de la casa de compresores Atlas Copco. El costo de las modificaciones a la casa de compresores Atlas Copco será introducido a través de otro proyecto para la

repotenciación de la casa de compresores, con las recomendaciones o modificaciones aquí planteadas.

Modificación obligatoria:

Colocación adicional de 1000 litros de capacidad de aire a través de 2 depósitos de 500 litros cada uno dispuestos en serie con respecto al depósito disponible en el sistema original. Esta solución no es más que una sugerencia, podría realizarse un estudio exhaustivo para determinar cuál es la solución más óptima que se adapte a las necesidades de operación, mantenimiento que además tome en cuenta parámetros económicos.

Modificaciones adicionales:

Colocación adicional de un filtro de mayor capacidad de separación de aceite, bien sea, en serie con el filtro existente en la casa de compresores o pequeños filtros a la entrada de cada unidad. Las posibles soluciones deberán ser sometidas a un estudio para la selección de la más óptima.

Se considera que el resto de los equipos que conforman la casa de compresores Atlas Copco se encuentran ajustados a las exigencias del sistema de las unidades de generación y sólo queda de parte del personal de operación y de mantenimiento el buen funcionamiento de los equipos.

4.6 Desarrollo de Ingeniería de Detalle

4.6.1 Selección de Materiales y Equipos

Luego de terminado el diseño conceptual del sistema de respaldo de aire, se procede a la selección de todos los equipos que formarán parte de éste. Para ello se investigó las propiedades del aire de instrumentación y del aire proveniente de los compresores del servicio de planta (presión, temperatura y caudal). Todas estas propiedades son valores “fijos” que define el fabricante para la operación adecuada del sistema.

Por ejemplo la presión del aire de instrumentación en condiciones normales de operación tendrá los siguientes valores:

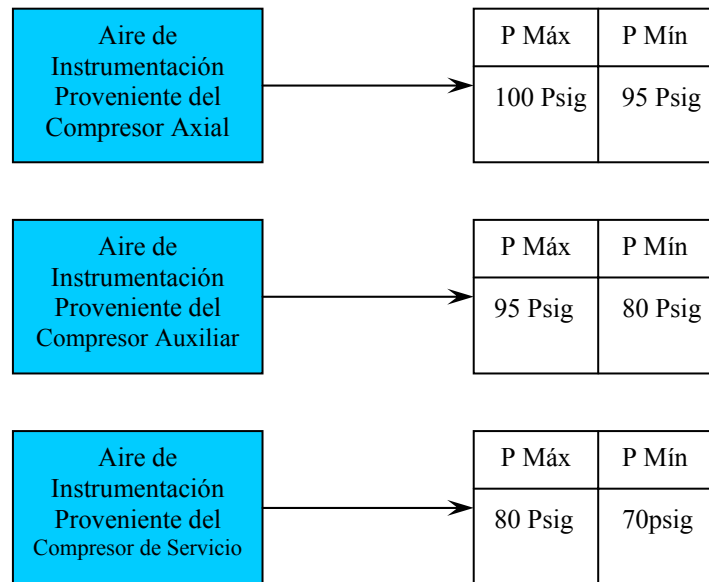


Figura 33. Niveles de presión del aire según su procedencia. Fuente: El Autor

Entonces la presión del sistema de aire de instrumentación en condiciones normales se debe encontrar en un rango entre (80 psig – 100 psig). Los equipos encargados de mantener estos niveles de presión son las válvulas reguladoras de presión. Estos niveles se pueden verificar fácilmente utilizando los indicadores de presión presentes dentro de las unidades.

El valor de la temperatura no es tan sencillo de verificar debido a que no existe dentro del sistema de aire ningún instrumento que arroje un valor de esta

propiedad. Para la verificación de la temperatura del aire de instrumentación se utilizó los libros de setting y programas de entrenamiento de la planta. Según estos libros a temperatura a la entrada del sistema del aire de instrumentación debe estar alrededor de 120°F (48.89°C), entonces este es el valor que se usará como referencia de temperatura del aire.

Para observar en detalle los equipos seleccionados y sus especificaciones técnicas ver Apéndice A: “Manual de Instalación y Ubicación”

4.6.2 Ubicación Física e Instalación del Sistema de Respaldo

4.6.2.1 Ubicación

El sistema diseñado estará casi en su totalidad dentro del gabinete de interruptores de presión dentro del paquete mecánico. El detalle de la ubicación de los equipos se puede ver con detalles en el manual Ubicación e Instalación en el Apéndice A

NOTA: es importante destacar que el lenguaje usado dentro de los manuales elaborados podría ser un poco distinto al lenguaje usado dentro del cuerpo de la tesis, debido a los usuarios a la cual está destinado.

4.6.2.2 Instalación

Para realizar el manual de instalación se requirió ayuda del personal de mantenimiento específicamente, el cual aportando su experiencia se logró detallar en cierta medida la forma de instalación de los equipos que conforman el sistema de respaldo. Véase Apéndice A.

4.6.3 Elaboración de Cómputos Métricos y Planos

4.6.3.1 Cómputos Métricos

Lista detallada de materiales y equipos a usar para la instalación del sistema. Véase Apéndice B “Cómputos Métricos”.

4.6.3.2 Planos de Operación

Este plano se realizó ajustado a las normas de Siemens Westinghouse para entonces sustituir al plano original del sistema de aire de instrumentación.

Además se incluyó un plano operativo que toma en cuenta la casa de compresores Atlas Copco como un sistema nuevo para las unidades. Véase Apéndice D.

4.6.4 Ajustes de los Instrumentos

4.6.4.1 Ajuste del Transmisor de Presión PT15701

Por ejemplo uno de los cambios del sistema de aire es la sustitución de un interruptor de presión por un transmisor de presión. Originalmente el interruptor de presión está ajustado a activar una alarma al momento de que haya una caída de presión por debajo de 80 psig y restableciendo las condiciones normales cuando la presión ya ha superado 95 psig.

El transmisor de presión hará exactamente lo mismo con la diferencia de después de haber activado la alarma cuando la presión desciende por debajo de 80 psig, si la presión sigue cayendo y llega a 70 psig, éste enviará una señal que abrirá la válvula solenoide para que entre en funcionamiento el sistema de respaldo. Esta condición se reestablecerá cuando la presión de la línea supere de nuevo los 85 psig.

La decisión de colocar la activación del sistema de respaldo a 70 psig se debe a la concepción básica de del sistema. Es un sistema concebido bajo la idea de que actuará sólo en casos de emergencia debido a que las condiciones del aire de respaldo pudieran no ser las más adecuadas para los equipos neumáticos.

4.6.4.2 Ajuste del Interruptor de Presión PS15703

El ajuste para el interruptor de presión PS15703 se realizó determinando la caída de presión en la tubería y en el filtro F1 desde el compresor auxiliar. La determinación de la pérdida de presión se realizó experimentalmente de la siguiente forma:

1. Lectura de la presión en el indicador de presión ubicado en el tanque del compresor auxiliar.
2. Lectura de la presión a la salida del filtro F1. Para ello se cierra la válvula normalmente abierta que conduce al indicador de presión y se abre la normalmente cerrada que se encuentra después del filtro. Ver figura 34.
3. Luego se restan los valores de la presión y se obtienen las pérdidas para el caso particular el valor de la caída de presión no superó los 5 psig.

Como parte de una normativa de mantenimiento cuando la caída de presión en cualquiera de los filtros en el sistema de aire de instrumentación alcanza los 5 psig éstos deben cambiarse por unos nuevos. Entonces de esta manera se considera una pérdida de presión máxima de 5psig.

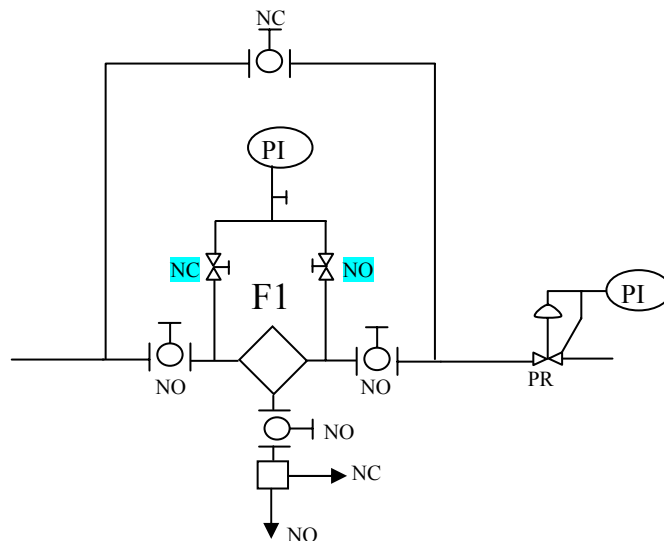


Figura 34. Medición de las pérdidas.
Fuente El Autor

El presostato del compresor mantiene la presión entre 190 y 220 psig a esto restándole las máximas caídas de presión por pérdidas, el interruptor de presión PS15703 no debería recibir menos de 185 psig en condiciones normales, tomando una holgura adicional de 5 psig, se ajustó la alarma de este instrumento a 180 psig y el reestablecimiento de ésta a 195 psig para garantizar la normalidad de las condiciones.

De forma análoga se realiza la determinación del ajuste para el interruptor de presión PS15702.

El detalle de los equipos de medición y sus respectivos ajustes se pueden ver en el Apéndice A: Manual de Instalación y Ubicación”

4.6.5 Diseño y Cálculo de Partes para Soporte de los Equipos

Los equipos tales como, transmisor de presión, válvula solenoide e interruptor de presión son adquiridos con sus correspondientes soportes y tornillos para la instalación, sólo se debe hacer referencia en el modelo del equipo del tipo de soporte que se desea. Por lo cual no se hace necesario el cálculo de mecanismos de soporte para estos equipos. Pero para el caso de la válvula de purga si es necesario porque se desea realizar una instalación específica dentro del sistema.

4.6.5.1 Definición del Equipo e Instalación

El equipo en cuestión es una válvula de purga continua, debido a su naturaleza esta debe ubicarse en la zona más baja de la instalación de forma que la acumulación de posible condensado sea expulsado del sistema cada cierto tiempo. Para ello se deberá sacar una toma de la línea principal con dirección descendiente, como se muestra en la figura.

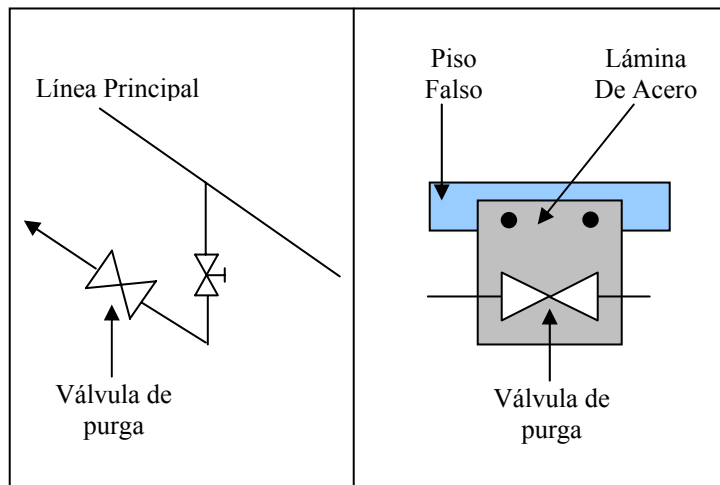


Figura 35: Instalación de Válvula de Purga
Fuente: El Autor

La válvula de purga se sujetará a la lámina con las herramientas que esta trae. Y a su vez la lámina se sujetará al piso falso a través de dos tornillos que se calcularán a continuación.

Las dimensiones de la lámina se estiman en base a las dimensiones reales de la válvula y además en base a la altura a la cual es necesario colocar la válvula con respecto a la línea principal. En la planta existe material disponible para esta aplicación. Láminas de Acero AISI 1045 de 5 mm de espesor.

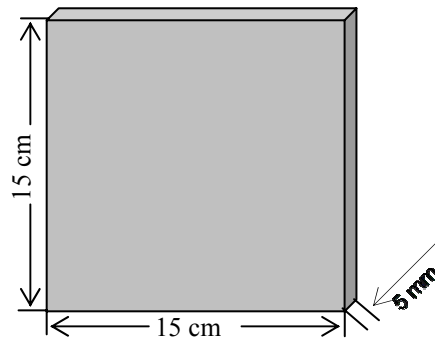


Figura 36: Dimensiones de la lámina
Fuente: El Autor

4.6.5.2 Definición del material de la lámina y tornillos

Lámina de acero al carbono AISI 1045

$$\rho = 7700 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Material del tornillo: Acero grado 4.6

Resistencia a la fluencia = 240 MPa

4.6.5.3 Cálculo del Peso de la Lámina y el Peso Total

$$W_{\text{lám}} = \rho_{\text{lám}} * V_{\text{lám}} * g$$

$$V_{\text{lám}} = 0,15 \text{ m} * 0,20 \text{ m} * 0,005 \text{ m} = 15 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{lám}} = 15 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{\text{lám}} = 7700 * 15 * 10^{-5} * 9.81$$

$$W_{\text{lám}} = 8,5 \text{ N}$$

$$W_{\text{vál}} = 11,12 \text{ N}^1$$

$$W_t = 8,5 + 11,12 = 19,62 \text{ N}$$

¹ Referencia: Manual de Instalación Página A-11

4.6.5.4 Cálculo de los Tornillos que Sujetan la Placa al Piso Falso

Estos tornillos son los que sujeten toda la estructura del sistema de soporte y volteo a la base de la incubadora.

Para el cálculo del área transversal de este componente se procedió de manera análoga a los pasadores seleccionados anteriormente. Este componente estará constituido por un perno de acero grado 4.6 cuyo punto de fluencia es igual a 240 MPa. El factor de seguridad asumido es igual a 4.

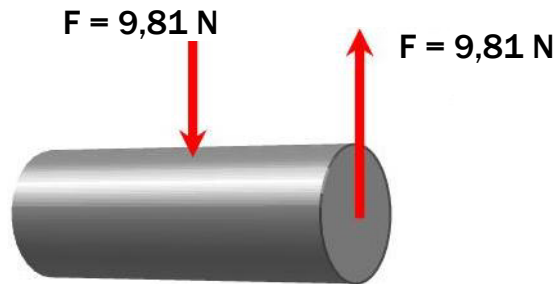


Figura 37: Diagrama de Fuerzas de Corte
Fuente: El Autor

Aplicando teoría de falla para este caso, con $\psi = 3$ y $F_x = 240\text{MPa}$, la fuerza de corte que soporta este perno tiene una magnitud de 19,62 N entre los dos pernos, por lo se obtiene un área transversal:

$$A = \frac{V * \psi}{F_x} \Rightarrow A = \frac{9,81\text{N} * 3 * 10^6 \text{ mm}^2}{240 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 1\text{m}^2} \Rightarrow A = 0,1226\text{mm}^2$$

El diámetro es

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,1226\text{mm}^2}{\pi}} = 0,395\text{mm}$$

normalizando este valor el diámetro del perno sería igual a 2,8 mm (Normas DIN).

Se seleccionaron pernos M3, con lo cual el nuevo factor de seguridad es 130,5.

4.6.6 Selección de las Tuberías

Basados en el sistema original de aire de instrumentación, se decidió mantener los mismos parámetros para el diámetro de las tuberías de manera de facilitar tanto labores de instalación y mantenimiento de las mismas.

Según Siemens Westinghouse Instruction Book

Tubería principal del sistema de Aire de instrumentación $\phi = 1/2''$

Tubería secundaria, desde la principal hacia los instrumentos $\phi = 3/8''$

Otras tuberías, a la entrada de la mayoría de los instrumentos $\phi = 1/4''$

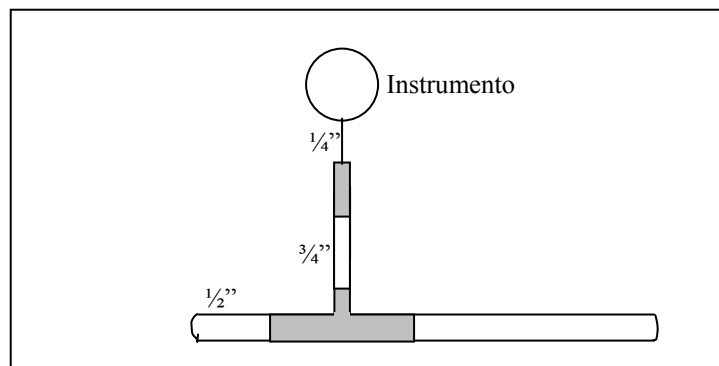


Figura 38: Diagrama de Tuberías
Fuente: El Autor

4.7 Plan de Mantenimiento Preventivo Maestro

4.7.1 Objetivos

Entregar una herramienta al personal encargado de labores de mantenimiento de las unidades de forma tal que se integre a las labores de mantenimiento de los demás equipos y sistemas. Esta herramienta posee algunos detalles del mantenimiento a aplicar, tales como: nombre del equipo, actividad a realizar, código, si es necesaria la parada de la unidad, ubicación del equipo, entre otros.

Esta planificación provee una revisión rápida de las actividades de mantenimiento preventivo a realizar al sistema de aire de instrumentación. Esta herramienta proporcionará una serie de tareas planificadas para ejecución periódica para entonces garantizar el tiempo de vida útil de los equipos y mejorar la eficiencia del sistema.

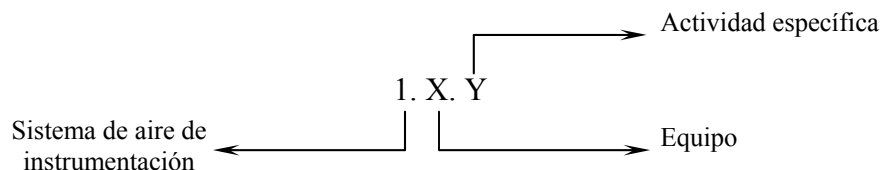
4.7.2 Componente

El plan de mantenimiento maestro consta de 9 columnas. A continuación una descripción de cada una de ellas.

Columna 1: Muestra el nombre del equipo o accesorio a el cual se debe realizar la actividad.

Columna 2: Se indica la actividad que debe realizarse con una pequeña descripción.

Columna 3: Señala el código que posee esa actividad. Cada actividad posee un número único. El primer número señala el sistema al cual pertenece el equipo, para el caso particular de este plan de mantenimiento el único sistema tomado en cuenta es el sistema de aire de instrumentación, entonces se le asignará el número 1. El segundo número indica el equipo. El tercer número indica la actividad específica, es decir, si un mismo equipo posee varias actividades de mantenimiento entonces este número distingue la actividad específica.



Columna 4: Indica la frecuencia en la que se debe realizar la actividad: años, meses o semanas. Algunas actividades no poseen frecuencia estipulada, debido a que

son realizadas cuando se emita una alarma de prevención o avería. Mantenimiento tipo B y tipo A significa que la actividad se realiza cada 24000 horas y 48000 horas respectivamente.

Columna 5: Señala si es necesario detener el proceso de generación eléctrica mientras es realizada la actividad de mantenimiento.

Columna 6: Muestra la ubicación en el cual se encuentra el equipo u accesorio.

Columna 7: Señala la cantidad de personal necesario y el nivel profesional que se requiere para realizar la actividad de mantenimiento. Lo que se muestra en esta columna se encuentra codificado. El número que antecede a la letra indica la cantidad de personal y la letra significa lo siguiente:

Abreviatura	Nivel profesional
m	Técnico superior universitario en mecánica
a	Ayudante
e	Técnico superior universitario en electricidad
i	Instrumentista

Tabla 10: Nivel Profesional

Fuente: El Autor

Columna 8: Expresa un estimado de horas hombres necesarias para realizar la labor de mantenimiento.

Columna 9: Consta de una serie de columnas, cada una de ellas un mes del año. Cada una de ellas se subdivide en 4 columnas que indica la semana del mes. Uno o varios cuadros correspondientes a la fila de la actividad se encontraran rellenos, indicando la semana que debe ser realizada la actividad de mantenimiento de la unidad.

A continuación se muestra un formato en blanco del plan de mantenimiento maestro.

4.8 Plan de Mantenimiento Preventivo Detallado

4.8.1 Objetivos

Son fichas técnicas dirigidas al personal encargado tanto de actividades de campo como a aquellas personas encargadas de la compra de insumos. Al personal que realiza las actividades ofrece una breve descripción del procedimiento que debe realizarse en la actividad e incluso las herramientas que se necesitan, alerta acerca de medidas de seguridad entre otros tópicos.

De forma detallada las fichas técnicas estarán conformadas por la siguiente:

1. Imagen del Equipo
2. Nombre de equipo, subsistema o accesorio
3. Ubicación
4. Descripción de operación y función
5. Marca y modelo del equipo
6. Código de identificación (equipos de instrumentación)
7. Rangos de trabajo
8. Frecuencia de la actividad de mantenimiento
9. Tipo de mantenimiento
10. Necesidad de detener la unidad para realizar la actividad
11. Cantidad de personal y nivel de instrucción que requiere el personal para realizar la actividad
12. Cantidad de horas hombre para realizar la actividad
13. Tipo y cantidad de herramientas necesarias
14. Cantidad y tipos de materiales consumibles necesarios
15. Descripción breve de la actividad
16. Observaciones

4.8.2 Formato del Plan de Mantenimiento Detallado

Nombre del equipo		Descripción de operación y función	
Imagen		Descripción breve de la actividad	
Ubicación		Tipo y cantidad de herramientas	Tipo y cantidad de materiales
Marca	Personal y nivel de instrucción		
Modelo	Información Adicional		
Rangos de trabajo	Observaciones		
Frecuencia de mantenimiento	Fecha ____/____/____		
Tipo de mantenimiento	Encargado de la actividad _____		
Necesario detener la unidad	SI		

Figura 40: Formato Mantenimiento detallado. Fuente: El Autor

4.8.3 Lista de Equipos con sus Respectivas Actividades para Mantenimiento

1. Compresor de aire auxiliar
 - Agregar aceite al compresor
 - Drenar condensado
 - Cambio de aceite y verificación de drenaje automático del filtro
 - Verificación de ajuste del interruptor de presión
 - Cambio de filtro de aire
 - Limpieza de tubos del intercambiador, aletas de cilindro, tapa, ventilador y respiradero de aceite
 - Chequear tensión de las correas para su posible reemplazo
 - Inspección y limpieza de válvula de succión
 - Inspección de tanque y limpieza
 - Limpiar o cambiar filtro de aire del drenaje automático
2. Motor eléctrico del compresor auxiliar
 - Lubricación de rodamientos del motor
 - Cambio de rodamientos del motor
3. Secador de aire
 - Verificación del punto de rocío a la salida
 - Cambios de pre y post filtros F3 y F4
 - Chequeo del disecante del secador
 - Cambio del disecante de medidores de humedad
4. Filtros F1 y F2
 - Cambio de filtros
5. Válvula solenoide de 4 vías
 - Cambio de diafragmas y partes
6. Regulador de presión PR15750
 - Lubricación del tornillo de ajuste
 - Realización de cambio de kit

7. Reguladores de presión PR15701 y PR15703
 - Lubricación del tornillo de ajuste
 - Realización de cambio de kit
8. Válvulas check CV15725, CV15749, CV15750, CV15751, CV15752
 - Limpieza y chequeo
9. Válvulas del sistema de sobrevelocidad
 - Probar el funcionamiento de la válvula hidráulica y neumática para realizar cambio de kit
10. Indicadores de presión PI15701, PI15702, PI15704, PI15705, PI15706, PI15707, PI15721.
 - Revisar 0 y spam
11. Interruptor de presión PS15702, PS15703
 - Verificar configuración y ajuste de los equipos
12. Válvulas solenoides SV15721, SV15738, SV15701
 - Revisión de bobina y cambio de kit
13. Acumuladores de aire
 - Chequeo de presión de precarga
14. Compresores atlas Copco
 - Verificación del nivel de aceite
 - Verificación de lámparas de servicio
 - Verificación de temperatura aire/aceite
 - Verificación del funcionamiento del drenaje automático
 - Verificación de presiones de descarga
 - Verificar temperatura de salida del aire
 - Cambio de aceite y filtros de aceite
 - Cambio de filtro de aire

- Verificación de limpieza de radiadores
- Verificación de dispositivos de seguridad
- Cambio de separador de aceite
- Limpieza externa/interna de radiadores
- Verificar componentes del sistema de regulación
- Cambios de elementos de compresor (cambio de rodamientos)

15. Transmisor de presión PT15701

- Verificación de la configuración del equipo

16. Trampas de agua

17. Válvulas de paso

4.9 Manual de Mantenimiento (Versión Digital)

Esta es una versión realizada bajo ambiente Windows haciendo uso del programa Microsoft Excel y programación bajo el lenguaje Visual Basic.

Este programa muestra en una hoja de Microsoft Excel un campo para la selección de una actividad específica a la cual se desee realizar un mantenimiento. Esta selección llama la misma ficha técnica con la que se cuenta que corresponde al equipo o la actividad.

El programa cuenta con una extensa base de datos que incluye toda la información necesaria incluso imágenes de los equipos a los cuales se quiera realizar mantenimiento.

Es posible también en este programa introducir la fecha del último mantenimiento para cierto equipo o sistema y se calculará la fecha tentativa para el próximo mantenimiento.

4.10 Manual de Operación

Este manual tiene como objetivo fundamental dar a conocer el sistema a instalar tanto al personal de mantenimiento como al personal de operaciones.

El manual de operación consta de una breve descripción del sistema, cómo opera bajo diferentes situaciones y qué hacer en caso de que ocurriera alguna falla específica.

Además al manual de operación se anexa los diferentes planos operativos de forma tal que el personal sea capaz de reconocer de forma rápida tanto las conexiones como los diferentes equipos que conforman el sistema.

Capítulo V

Lógica de Control

CAPÍTULO V- DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

5.1 Desarrollo de la Lógica de Control

Los equipos que formarán parte de la lógica de control serán para cada unidad; dos interruptores de presión, un transmisor de presión y por último una válvula solenoide.

5.1.1 Equipos

5.1.1.1 Interruptor de Presión PS15703

Es un equipo que maneja una señal digital de entrada al sistema de control, el estado de esta señal será abierta o cerrada, la cual indicará que se sobrepasó el límite fijado en el equipo.

Este interruptor activará una alarma en el sistema de control si censa un nivel de presión por debajo de 75 psig y reestablecerá la alarma a 80 psig.

Posibles causas de activación de la alarma

- Falla de los compresores Atlas Copco
- Fuga o consumo excesivo
- Válvula de la línea principal de aire de planta cerrada
- Interruptor de presión descalibrado

5.1.1.2 Interruptor de Presión PS15702

Es un equipo que maneja una señal digital de entrada al sistema de control, el estado de esta señal será abierta o cerrada, la cual indicará que se sobrepasó el límite fijado en el equipo.

Este interruptor activará una alarma en el sistema de control si censa un nivel de presión por debajo de 180 psig y reestablecerá la alarma a 195 psig.

Posibles causas de activación de la alarma

- Compresor auxiliar fuera de servicio
- Fuga o consumo excesivo de aire
- Interruptor de presión descalibrado

5.1.1.3 Transmisor de Presión PT15701

Es un equipo que maneja una señal analógica de entrada al sistema de control, el estado de esta señal será un valor de presión de 0 a 300 psig y que será convertida en la tarjeta I/O en un señal de 4 – 20 mA.

El transmisor trabajará censando los valores de presión en cada instante y activará una alarma de precaución cuando el nivel de presión de la línea principal de sistema esté por debajo de 80 psig. La alarma se reestablecerá cuando el nivel de presión alcance los 95 psig.

Si el nivel de presión continúa descendiendo y alcanza los 70 psig se enviará una señal a la válvula solenoide SV15701 para que ésta se abra. La válvula se cerrará cuando el nivel de presión alcance los 80 psig.

Posibles causas de activación de la alarma

- Pérdida de carga en alguno de los filtros aguas abajo
- Pérdida de carga por mal funcionamiento del secador de aire
- Fuga o consumo excesivo de aire
- Transmisor de presión descalibrado

5.1.1.4 Válvula Solenoide SV15701

Es un equipo que maneja una señal digital de salida del sistema de control, el estado de esta señal será abierta o cerrada, la cual indicará que está abierta o cerrada la válvula solenoide.

Esta válvula solenoide será accionada a través de una señal proveniente del transmisor de presión, el cual controlará la posición de la válvula solenoide (abierta o cerrada).

5.1.2 Situaciones en las cuales el Sistema Debe Actuar

La lógica de control estará diseñada de forma tal que el sistema por sí sólo tenga la capacidad de reaccionar ante diferentes situaciones, a continuación se muestra los diferentes eventos y las acciones:

- Baja presión del aire proveniente del compresor auxiliar

Cuando este evento ocurra se activará una alarma en el sistema de control llamada PS15702. Una vez reestablecido el evento se reestablecerá la alarma.

- Baja presión del aire proveniente de los compresores de planta

Cuando se tenga un nivel de presión bajo en este ramal, se activará una alarma en el sistema de control PS15703. Una vez reestablecido el sistema se reestablecerá la alarma.

- Baja presión del aire proveniente del compresor auxiliar y al mismo tiempo del aire proveniente de los compresores de planta.

En el caso que este evento ocurra, se activará una alarma crítica que advertirá a los operadores para que éstos tomen acciones de inmediatas para solventar esta situación. Esta alarma aparecerá en el panel de control con el nombre AL15702. Una vez reestablecido el sistema se reestablecerá la alarma.

- Baja presión del sistema de aire de instrumentación

En caso de ocurrir este evento se activará una alarma en el panel de control llamada PT15701. Una vez reestablecido el sistema se reestablecerá la alarma.

- Presión crítica del aire de instrumentación

Si se registran valores críticos de la presión del aire de instrumentación, esto traerá como consecuencia la activación inmediata de una *alarma crítica* en el sistema de control llamada SV15701 y a su vez se enviará una señal de apertura de la válvula solenoide SV15701, en la consola de ingeniería correspondiente a la unidad en problema se mostrará un aviso donde se indicará que la válvula solenoide está abierta. Una vez superada la situación crítica, se enviará una señal de cierre de la válvula solenoide mostrándose así a través de un aviso en el panel de control.

- Situación crítica del sistema de respaldo

Si el sistema de respaldo está siendo utilizado y se activa la alarma de baja presión proveniente de los compresores Atlas Copco, esto provocará una situación más crítica debido a que se está haciendo uso de un sistema que no cuenta con las condiciones adecuadas en ese momento. Entonces se activará una alarma crítica AL15703 que advertirá a los operadores posible riesgo que está corriendo la unidad. Esta alarma se reestablecerá cuando alguna de las dos situaciones que la producen sea solventada.

5.1.3 Diagrama de Flujo

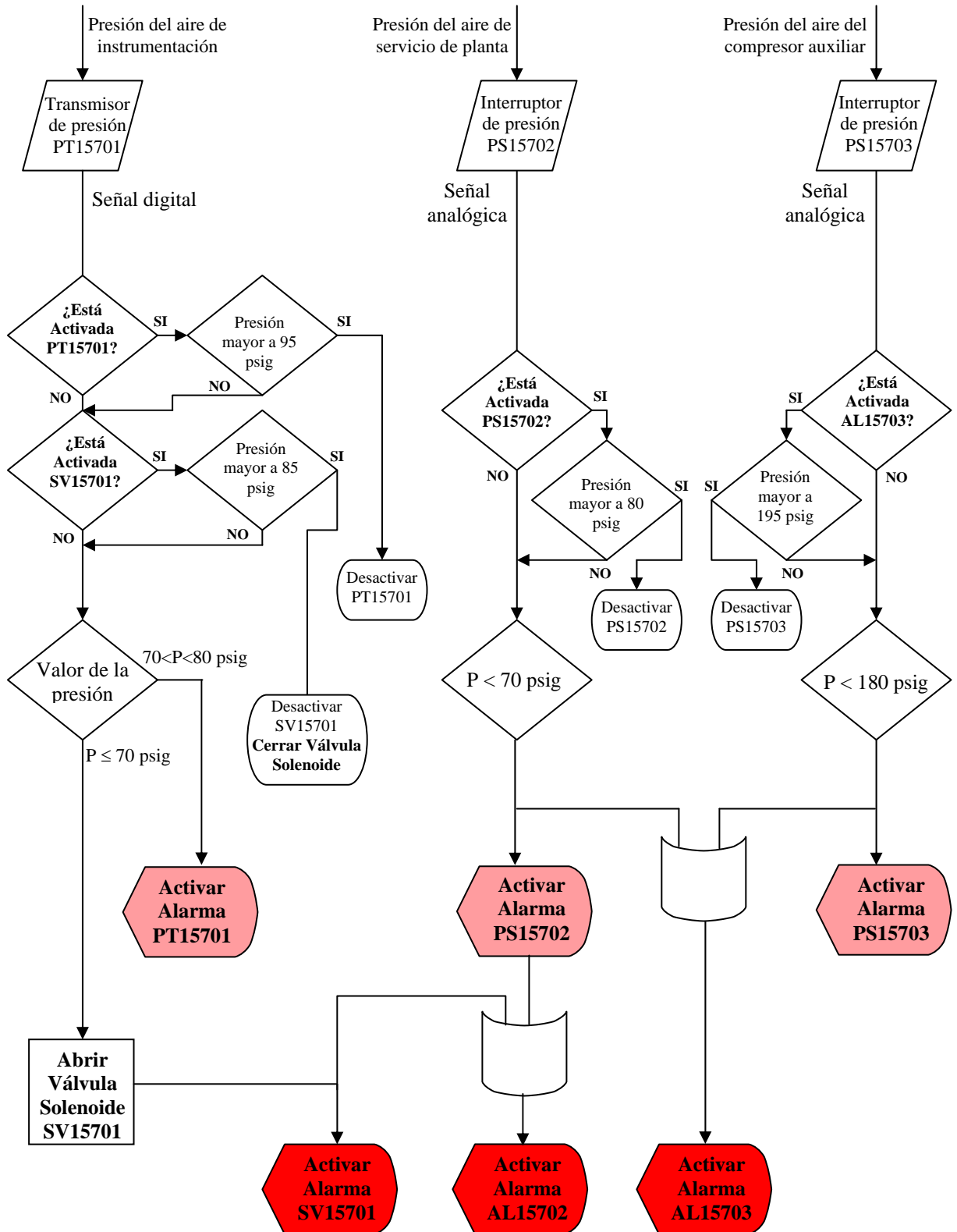


Figura 41: Diagrama de Flujo
Fuente: El Autor

5.1.4 Definición de los Puntos en el Sistema de Control

Cada equipo que emite señal tiene que estar asociado a un punto específico dentro del sistema de control, que vigilará las condiciones y los rangos de la señal que se está recibiendo. Las señales pueden ser emitidas por los equipos o hacia los equipos, es decir, señales de entrada o salida.

Existen puntos que no están asociados a equipos de control, sino que son utilizados por el sistema para operaciones internas o para reproducir alarmas.

Cada punto deberá definirse de acuerdo a sus características y la función que éste va a desempeñar dentro del proceso de control.

Sólo para uno de los puntos se mostrará con detalle el procedimiento de la configuración específica. Para ello se muestran los campos que hay que llenar al momento de crear un punto en el mismo orden y se muestra también una pequeña descripción de lo que significa cada punto¹. En el caso en el que sea necesario señalar algún aspecto importante acerca de los demás puntos, se hará mención dentro de esta descripción.

5.1.5 Transmisor de Presión *PT15701*

5.1.5.1 Frequency: Muestra la frecuencia con la que son actualizados los datos

F: 1 (seg)

5.1.5.2 Record Type: Muestra el tipo de punto que de acuerdo a sus características.

AX / AM / AC / AL / AI

Campo de registro: RT

Tipo de dato: Byte (B)

Byte offset: 8

Descripción: Inicializado por el MAC Edit función (MEDIT), basado en el tipo de punto inicializado por el usuario. Dependiendo de las características que se desee cumpla el punto, entonces se escogerá el tipo específico.

El tipo de punto que se escoge en este campo es AI debido a que es el tipo de punto que cumple con todas las características a continuación mostradas.

RT: AI

¹ Para ver los formatos correspondientes al sistema de control véase al final de este Capítulo

5.1.5.3 Print Format: Muestra un número entero no negativo que representa el tipo de despliegue.

Campo de registro: FM

Tipo de dato: Byte (B)

Byte offset: 9

Descripción: Inicializado por el usuario como un número entero no negativo.

Define la forma en la que se ven los valores (estándar, exponencial, o técnico) y los decimales pueden ser mostrados por una opción estándar. Todos los valores dentro del sistema de control son mostrados del tipo técnico con dos decimales por esta razón se escoge para este campo:

FM: 2

5.1.5.4 Point Name: Nombre con el que se reconocerá el punto por los usuarios del sistema y que además aparecerá dentro de los planos operativos

Campo de registro: PN

Tipo de dato: Oración máximo 8 caracteres(Código ASCII)

Byte offset: 16

Descripción: Este será el nombre asignado para el punto y el cual estará reflejado tanto en el sistema de control como en los planos operativos y de control.

PN: PT15701

5.1.5.5 Top Of Bar: Valor Límite Superior

Campo de registro: TB

Tipo de dato: Número Entero (I)

Byte offset: 24

Descripción: Valor superior de la escala del instrumento

TB: 300

5.1.5.6 Bottom Of Bar: Valor Límite Inferior

Campo de registro: BB

Tipo de dato: Número Entero (I)

Byte offset: 26

Descripción: Valor mínimo de la escala del instrumento

BB: 0

5.1.5.7 Point Description: Descripción del punto

Campo de registro: ED

Tipo de dato: Oración máximo 30 caracteres (Código ASCII)

Byte offset: 28

Descripción: Descripción del punto

ED: INSTRUMENT AIR PRESSURE

Interruptor de Presión PS15702

ED: AIR COMPRESSOR PRESS

Interruptor de presión PS15703

ED: INSTRUMENT AIR PRESSURE

Válvula Solenoide SV15701

ED: EMERGENCY AIR VALVE

5.1.5.8 Engineering Units of Current Value: Unidades en las que se mostrará el punto

Campo de registro: EU

Tipo de dato: Oración máximo 6 caracteres(Código ASCII)

Byte offset: 58

Descripción: Valor introducido por el usuario y muestra las unidades en las que se desea se mostrado el valor de presión.

EU: psig

5.1.5.9 Entered Value: Muestra el último valor forzado

Campo de registro: EV

Tipo de dato: Real (R)

Byte offset: 64

Descripción: Valor introducido. Este valor podría ser inicializado por el usuario pero no es requerido. Esta función toma el valor introducido en las consolas para ser almacenado en el campo EV. El DPU copia el valor existente en el campo EV en el campo AV cuando el comando Entered Value es ejecutado.

EV: 0 (inicialmente)

5.1.5.10 Card Type Index: Muestra el tipo de tarjeta que deberá usarse para el punto en específico

Campo de registro: CD

Tipo de dato: Entero (I)

Byte offset: 68

Descripción: Tipo de tarjeta usada. Inicializado por el usuario. Se debe escoger la tarjeta de acuerdo a las especificaciones de la señal de entrada-salida y a características del punto.

CD: QAW G04, G05¹

Para los interruptores de presión el tipo de tarjeta será:

CD: QCI

Para la válvula Solenoide

CD: QRO

5.1.5.11 Card Address: Muestra un número hexadecimal que está referido a la dirección de hardware de las tarjetas de entrada y salida

Campo de registro: HW

Tipo de dato: Entero (I)

Byte offset: 70

Descripción: Inicializado por el usuario de puntos leídos del campo I/O o escritos en él, referido a las tarjetas de entrada y salida. Es diferente para cada unidad.

$$HW = 2 [ADD + (PN - 1) + MBU$$

ADD: Dirección de memoria de la tarjeta (hexadecimal)

PN: Posición relativa en la tarjeta disponible para la conexión

MBU: Posibles valores 0 y 1. Para nuestro caso únicamente 0.

Para el caso del transmisor de presión de la unidad 13:

$$ADD = 01101000 \text{ (decimal)} = 68 \text{ (hexadecimal)}$$

$$PN = 16,17,18 = \text{Bit } 5$$

$$HW = 2 [68 + (5 - 1) + 0 = D8$$

HW Unidad 13: D8

Nota: El cálculo de las direcciones de las tarjetas debe realizarse al momento de realizar la instalación ya que la dirección dependerá de la disponibilidad en las tarjetas

¹ Records Q line I/O User's Guide. Westinghouse.

5.1.5.12 Alarm Priority: Muestra la prioridad de la alarma

Campo de registro: AP

Tipo de dato: Byte (B)

Byte offset: 72

Descripción: Prioridad de la alarma, indica la prioridad alta o baja del punto en específico. El más alto de los dos valores indica el límite para que aparezca la alarma y el más bajo de los dos valores es usado para que los puntos retornen al estado norman.

Los valores válidos en hexadecimal se muestran a continuación:

00	10	20	30
01	11	21	31
02	12	22	32
03	13	23	33

Tabla 11: Nivel de alarma

Primer dígito: Prioridad de de normalización de la alarma

Segundo dígito: Prioridad para aparición de la alarma

AP: 02

5.1.5.13 Alarm Dest: Destino de la alarma

Campo de registro: AY

Tipo de dato: Byte (B)

Byte offset: 73

Descripción: Está ligado a que impresora se desea se imprima el evento relacionado con este punto

AY Unidad 9: A

AY Unidad 10: B

AY Unidad 11: C

AY Unidad 12: D

AY Unidad 13: E

5.1.5.14 Limit Check Flag: Muestra el estado de una serie de parámetros que habilitan o no funciones referentes a chequeo de límites.

Campo de registro: LC

Tipo de dato: Byte (B)

Byte offset: 79

Descripción: Valor inicial introducido por el usuario haciendo uso de una tabla¹ dónde se muestra los diferentes estados para valores diferentes del campo LC. Si no es inicializado por el usuario por defecto se carga cero (0) como el valor de LC.

LC: 1

5.1.5.15 High Limit: Muestra un número decimal que hace referencia al límite superior que puede aceptar ese punto.

Campo de registro: HL

Tipo de dato: Real (R)

Byte offset: 82

Descripción: Valor introducido por el usuario muestra el valor superior en el cual se alarmará el punto así se chequeará que la presión del sistema supere valores no deseados.

HL: 125

5.1.5.16 Low Limit: Muestra un número decimal que hace referencia al límite inferior que puede aceptar ese punto.

Campo de registro: LL

Tipo de dato: Real (R)

Byte offset: 86

Descripción: Valor introducido por el usuario muestra el valor inferior en el cual se alarmará el punto así se chequeará que la presión del sistema supere valores no deseados.

LL: 80

5.1.5.17 Inc Limit: Muestra el estado de una alarma con respecto a un instante anterior

Campo de registro: IL

Tipo de dato: Real (R)

Byte offset: 90

Descripción: Valor introducido por el usuario. Esta función se utiliza para alarmar nuevamente un punto una vez se haya alarmado una vez que supere un valor predeterminado.

IL: 5

¹ Referencia: Records Types User's Guide. Westinghouse. Document U-0131. Página 3-25

5.1.5.18 Deadband: Muestra el valor en las magnitudes correspondiente de la banda muerta

Campo de registro: DB
Tipo de dato: Real (R)
Byte offset: 94

Descripción: banda muerta para el alto o bajo límite. Este valor es introducido por el usuario. Si el valor de un punto está oscilando en algún momento alrededor de un límite la banda muerta no permitirá que se active y se desactive la alarma por pequeñas oscilaciones.

DB: 15

5.1.5.19 High Sensor Limit: Sensor del límite superior

Campo de registro: HS
Tipo de dato: Real (R)
Byte offset: 102

Descripción: Valor introducido por el usuario. Las unidades están el Voltios o Amperes, depende del tipo de tarjeta usada. Se puede configurar para puntos de señal analógica de entrada o salida.

HS: 0.0205 (mA)

5.1.5.20 Low Sensor Limit: Sensor del límite inferior

Campo de registro: LS
Tipo de dato: Real (R)
Byte offset: 106

Descripción: Valor introducido por el usuario. Las unidades están el Voltios o Amperes, depende del tipo de tarjeta usada. Se puede configurar para puntos de señal analógica de entrada o salida.

LS: 0.0038 (mA)

5.1.5.21 Conversion Type: Tipo de conversión de la señal de entrada

Campo de registro: CV
Tipo de dato: Byte (B)
Byte offset: 114

Descripción: Inicializado por el usuario. Seleccionando el tipo de ecuación para se usada para de conversión a unidades de ingeniería. Véase las ecuaciones a continuación:

CV	Tipo de conversión	Ecuación
0	Lineal (por defecto)	$Y = X$

1	Lineal	$Y = C_1X + C_2$
2	Polinomio grado 5	$Y = C_1 + C_2X + C_3X^2 + C_4X^3 + C_5X^4 + C_6X^5$
3	Raíz cuadrada	$Y = C_1 [\text{SQRT} (X + C_2)] + C_3$
4	Exponencial	$Y = C_1 [\text{EXP} (C_2X)] + C_3$
5	Cuadrada o quinto orden polinomial	

Existen dos tipos de funciones más pero no serán mencionadas.
CV: 1

5.1.5.22 Conv Index: Índice de los coeficientes de conversión

Campo de registro: CI
 Tipo de dato: Integer (I)
 Byte offset: 116

Descripción: Inicializado por el usuario, por defecto se encuentra en cero. Correspondiente a los coeficientes mostrados en el campo anterior. Si no introduce el campo CV, el campo CI no será usado. Los coeficientes deben corresponderse con la función seleccionada. Se debe crear un registro dentro del sistema de control donde se especifiquen los coeficientes de conversión de la señal de presión a valores entre 4 y 20 mA. Este registro se guardo bajo el nombre de un número decimal que es el que se colocará en este campo.

CI: 12

5.1.5.23 Drop No.: Identificación de la unidad o consola que manejará al número.

Campo de registro: SR
 Tipo de dato: Byte (B)
 Byte offset: 10

Descripción: Inicializado por MAC Edit funtion (MEDIT). Identifica a la consola en el cual el punto es originado.

- SR Unidad 9:** Drop 11 o Drop 12
- SR Unidad 10:** Drop 13 o Drop 14
- SR Unidad 11:** Drop 15 o Drop 16
- SR Unidad 12:** Drop 17 o Drop 18
- SR Unidad 13:** Drop 23 o Drop 24

5.1.5.24 Diagram Index: Muestra un número que indica si está habilitado el campo

Campo de registro: DG
 Tipo de dato: Entero (I)
 Byte offset: 14

Descripción: Es iniciado por el usuario. Define el número del diagrama que está vinculado al punto. No existe ningún punto vinculado directamente a un diagrama por lo tanto no se habilitará este campo.

DG: 0

5.1.6 Algoritmos de Textos

Los algoritmos de texto son usados para implementar un conjunto de funciones que no pueden ser realizadas en las escaleras ni en los lazos. Estos también cuentan con una serie de funciones que son iguales a las disponibles en los lazos y escaleras pero que muchas veces resultan más fáciles de utilizar. En estos algoritmos se manejan tanto variables analógicas como digitales.

Algunos de los algoritmos de texto sirven para insertar las entradas analógicas y digitales, provenientes de alguna tarjeta I/O a la lógica de control.

En nuestro caso se utilizaron algoritmos de textos de los tipos siguientes:

5.1.6.1 Low Limit

Entra una señal digital proveniente del transmisor de presión y sale una señal analógica cuando la señal se encuentre por debajo de cierto valor preestablecido. La señal digital de salida de este algoritmo de texto será SV15701 que activará una alarma con su mismo nombre y abrirá la válvula solenoide SV15701. Además se debe configurar una banda muerta para el restablecimiento de la alarma y el cierre de la válvula.

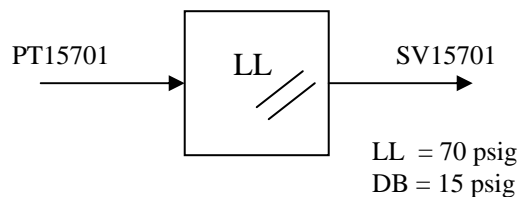


Figura 42: Algoritmo de Texto (Low Limit)
Fuente: El Autor

5.1.6.2 And

Entran señales digitales pueden ser 2 señales o más y la salida será verdadera sólo si todas las entradas lo son. Si alguna de las entradas es falsa entonces la salida será falsa también. La salida será entonces como se puede notar una señal digital. Este algoritmo será utilizado para generar la alarma AL15702 y AL15703 con sus correspondientes señales analógicas de entrada.

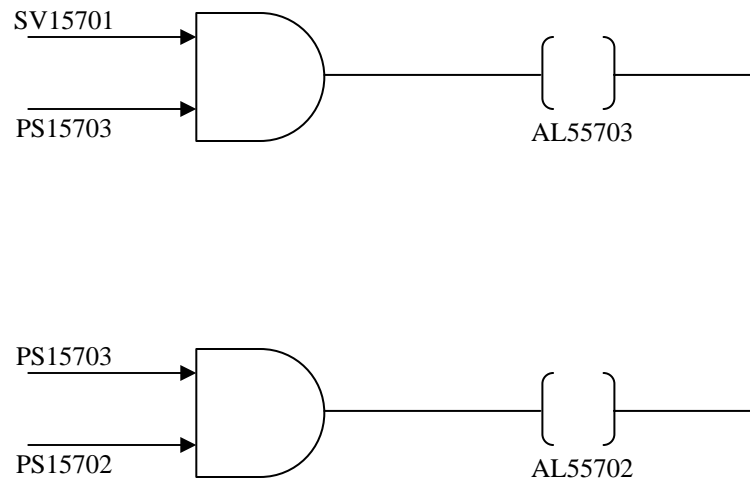


Figura 43: Algoritmo de Texto (And)
Fuente: El Autor

5.2 Muestra de Puntos Asociados al Control del Sistema de respaldo

5.2.1 PT55701

Point Description	ED	INSTRUMENT AIR PRESS
Analog Value	AV	-15.00 B PSIG
Scan		On
Top Of Bar	TB	300
Bottom Of Bar	BB	0
Sys ID No.	ID	68275 00010ab3H
Quality		Bad
Alarm Check		On
Limit Check		On
Auto Cutout		On
Alarm Status		SENSOR
Alarm Ack Status		
Analog Status	AS	038cH
(Binary)		0000 0011 1000 1100
Alarm Date/Time		04/27 10:05:00
Alarm Priority	AP	15H
Alarm Dest	AY	E
Entered Value	EV	95.00
Command Word	CM	0
Limit Ck Flag	LC	1
High Limit	HL	120.00
Low Limit	LL	80.00
Inc Limit	IL	4.00
Deadband	DB	15.00
Previous Value	PV	0.00
Frequency		1.0

Figura 44 A: Ventana de Información del punto PT55701
Fuente: Consola de prueba del sistema de control

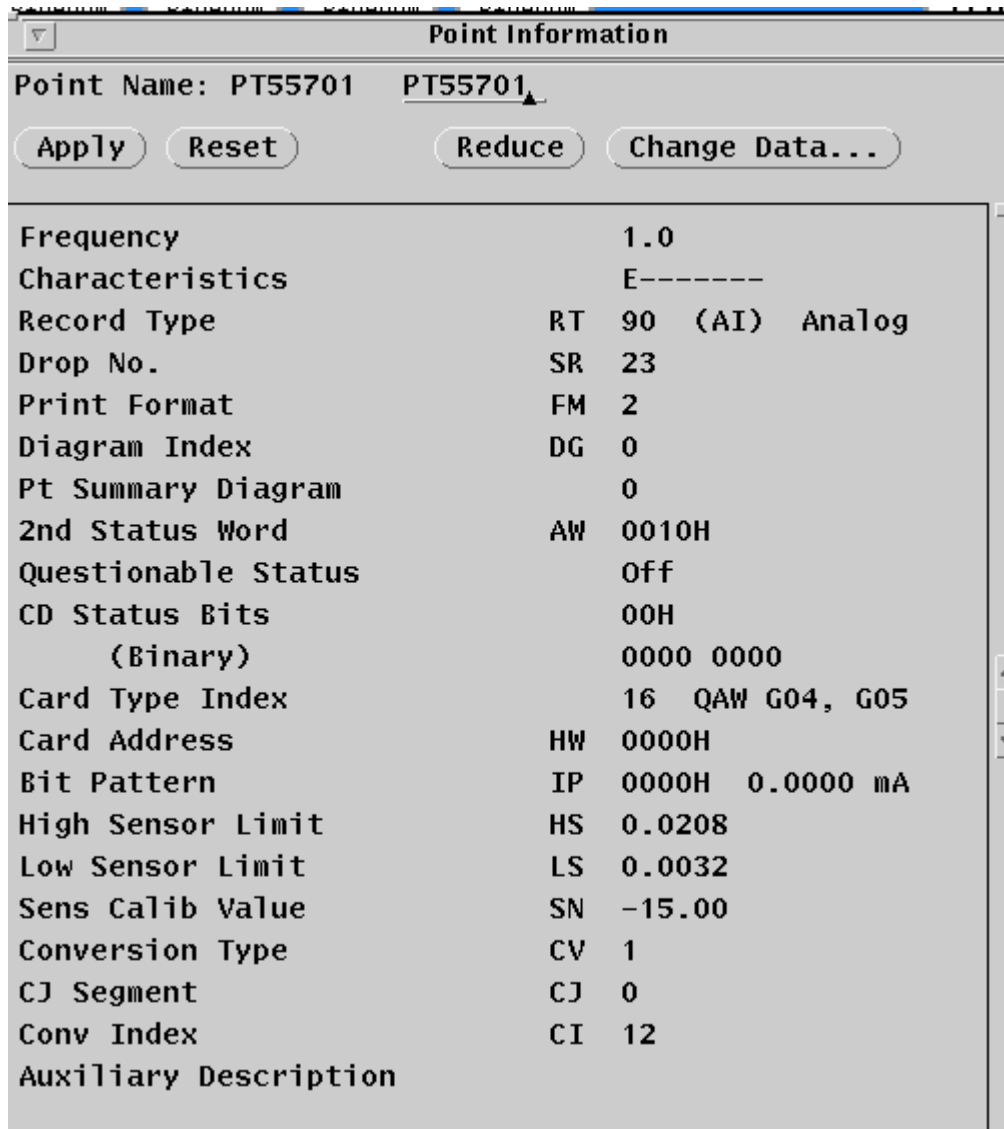


Figura 44 B: Ventana de Información del punto PT55701
Fuente: Consola de prueba del sistema de control

5.2.2 PS55702

Point Description	ED	AIR COMPRESSOR PRESS
Digital Value	LOW	0
Scan		On
Set Description	ST	NORMAL
Reset Description	RS	LOW
Sys ID No.	ID	66330 0001031aH
Quality		Good
Alarm Check		On
Auto Cutout		On
Alarm Status		NOT IN ALARM
Alarm Ack Status		
Digital Status	DS	0000H
(Binary)		0000 0000 0000 0000
Alarm Date/Time		
Alarm Priority	AP	02H
Alarm Dest	AY	-
Command Word	CM	0
Limit Ck Flag	LC	1
Alarm State	AR	1
Card Address	HW	0000H
Bit Position	BP	0
Record Type	RT	140 (DI) Digital
Originating Processor	J4	0
Drop No.	SR	23
Diagram Index	DG	0
Pt Summary Diagram		0
Frequency		1.0
Characteristics		-----
2nd Status Word	DW	0000H
Delay Time	RL	0
Power On Flag	PC	0000H
Soe Card	EQ	0
Auxiliary Description		

Figura 45: Ventana de Información del punto PS55702
Fuente: Consola de prueba del sistema de control

5.2.3 PS55703

Point Description	ED	INSTRUMENT AIR PRESSURE
Digital Value		NORMAL 1
Scan		On
Set Description	ST	NORMAL
Reset Description	RS	LOW
Sys ID No.	ID	66331 0001031bH
Quality		Good
Alarm Check		On
Auto Cutout		On
Alarm Status		NOT IN ALARM
Alarm Ack Status		
Digital Status	DS	0001H
(Binary)		0000 0000 0000 0001
Alarm Date/Time		07/08 10:05:00
Alarm Priority	AP	02H
Alarm Dest	AY	-
Command Word	CM	0
Limit Ck Flag	LC	1
Alarm State	AR	0
Card Address	HW	0000H
Bit Position	BP	0
Record Type	RT	130 (DL) Digital
Originating Processor	J4	0
Drop No.	SR	23
Diagram Index	DG	0
Pt Summary Diagram		0
Frequency		1.0
Characteristics		-----
2nd Status Word	DW	0000H
Auxiliary Description		

Figura 46: Ventana de Información del punto PS55703
Fuente: Consola de prueba del sistema de control

5.2.4 AL55702

Point Description	ED	AUXILIARY AIR SYSTEMS
Digital Value		NORMAL 0
Scan		On
Set Description	ST	LOW PR
Reset Description	RS	NORMAL
Sys ID No.	ID	68277 00010ab5H
Quality		Good
Alarm Check		On
Auto Cutout		On
Alarm Status		NOT IN ALARM
Alarm Ack Status		
Digital Status	DS	0000H
(Binary)		0000 0000 0000 0000
Alarm Date/Time		
Alarm Priority	AP	03H
Alarm Dest	AY	E
Command Word	CM	0
Limit Ck Flag	LC	1
Alarm State	AR	1
Card Address	HW	0000H
Bit Position	BP	0
Record Type	RT	130 (DL) Digital
Originating Processor	J4	0
Drop No.	SR	23
Diagram Index	DG	0
Pt Summary Diagram		0
Frequency		1.0
Characteristics		E-----
2nd Status Word	DW	0000H
Auxiliary Description		

Figura 47: Ventana de Información del punto AL55702
Fuente: Consola de prueba del sistema de control

5.2.5 AL55703

Point Description	ED	EMERGENCY AIR CRITICAL
Digital Value		CRITIC 1
Scan		On
Set Description	ST	CRITIC
Reset Description	RS	NORMAL
Sys ID No.	ID	68276 00010ab4H
Quality		Good
Alarm Check		On
Auto Cutout		On
Alarm Status		ALARM
Alarm Ack Status		Alarm Unackd
Digital Status	DS	00a1H
(Binary)		0000 0000 1010 0001
Alarm Date/Time		05/04 10:05:00
Alarm Priority	AP	03H
Alarm Dest	AY	E
Command Word	CM	0
Limit Ck Flag	LC	1
Alarm State	AR	1
Card Address	HW	0000H
Bit Position	BP	0
Record Type	RT	130 (DL) Digital
Originating Processor	J4	0
Drop No.	SR	23
Diagram Index	DG	0
Pt Summary Diagram		0
Frequency		1.0
Characteristics		E-----
2nd Status Word	DW	0000H
Auxiliary Description		

Figura 48: Ventana de Información del punto AL55703
Fuente: Consola de prueba del sistema de control

5.3 Algoritmos de Textos

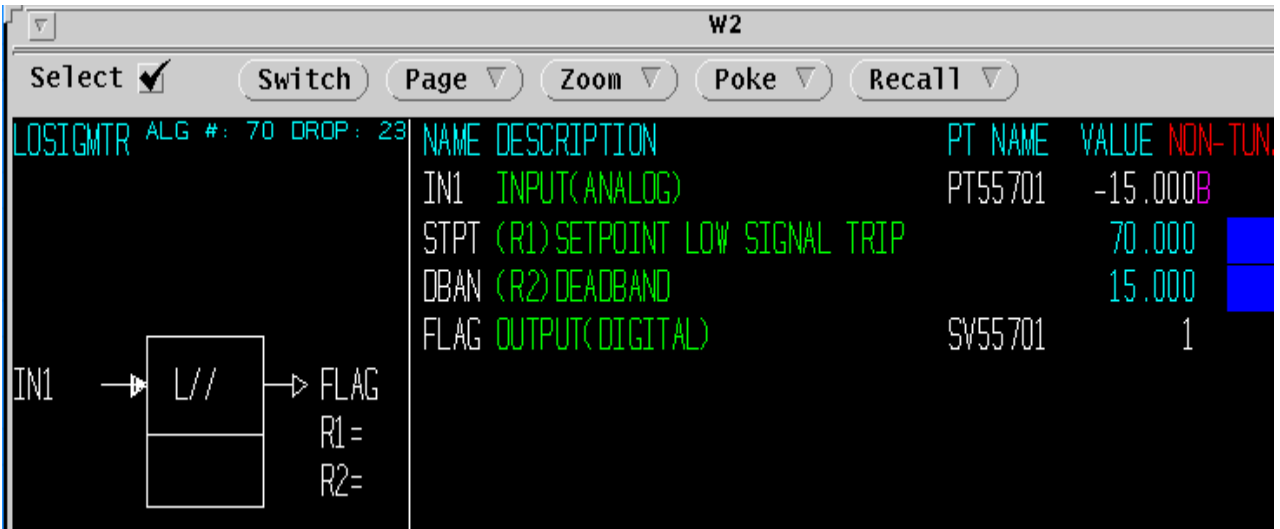


Figura 49: Algoritmo de Texto (Low Limit)
Fuente: Consola de prueba del sistema de control

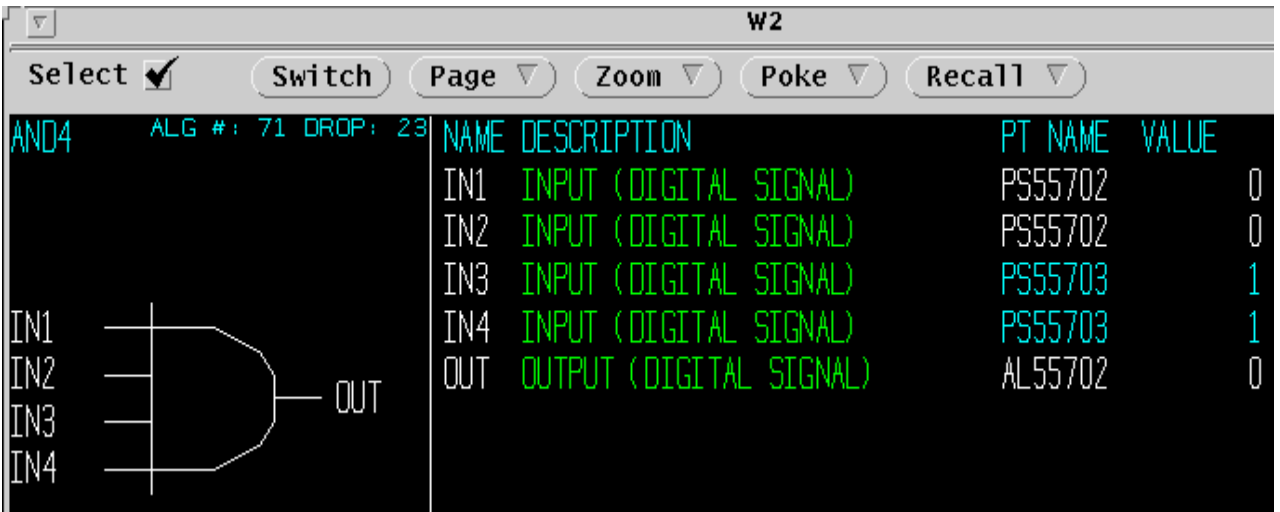


Figura 50: Algoritmo de Texto (And)
Fuente: Consola de prueba del sistema de control

W2

Select Switch Page Zoom Poke Recall

AND4 ALG #: 72 DRCP: 23

NAME	DESCRIPTION	PT NAME	VALUE
IN1	INPUT (DIGITAL SIGNAL)	SV55701	1
IN2	INPUT (DIGITAL SIGNAL)	SV55701	1
IN3	INPUT (DIGITAL SIGNAL)	PS55703	1
IN4	INPUT (DIGITAL SIGNAL)	PS55703	1
OUT	OUTPUT (DIGITAL SIGNAL)	AL55703	1

The image shows a logic diagram of a 4-input AND gate. On the left, four vertical lines represent the inputs, labeled IN1, IN2, IN3, and IN4 from top to bottom. These lines converge into a single horizontal line on the right, which is labeled OUT. The gate symbol is a semi-circular shape with a pointed right side.

Figura 51: Algoritmo de Texto (And)
 Fuente: Consola de prueba del sistema de control

Capítulo VI

Estimación de Costos

CAPÍTULO VI- ESTIMACIÓN DE COSTOS

6.1 Costos de la Puesta en Marcha del Proyecto

El análisis económico de la puesta en marcha (instalación y compra de equipos) del proyecto tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Costos de materiales y equipos, los cuales toman en cuenta costos de adquisición de los equipos.
- Costos asociados a la instalación por parte de una contratista.
- Costos asociados a la instalación por parte de empleados de la planta.

Se debe recordar la concepción principal del diseño del sistema, la cual es un sistema de emergencia, por lo tanto los beneficios económicos no se verán reflejados en ganancias netas, sino en evitar pérdidas por posibles fallas del sistema de aire actual.

6.1.1 Costos de Materiales y Equipos

Estos costos fueron estimados solicitando cotizaciones a los diferentes proveedores. El costo total indicado al final de la siguiente tabla indica el costo total de los materiales y equipos al momento de la solicitud de las cotizaciones. Para mayor detalle ver Apéndice 2: “Cómputos Métricos”. Las copias de las cotizaciones también están disponibles allí. Es importante destacar que esta estimación de costos no incluye las modificaciones a la casa de compresores Atlas Copco.

Equipos	Cantidad de Equipos	Costo Total
Interruptor de presión	4	4.146.000
Válvula solenoide	5	2.523.500
Transmisor de presión	4	17.080.224
Purga temporizada	5	8.397.315
Válvulas de retención	10	1.326.500
Válvulas de paso	15	2.727.750
Válvulas paso tipo aguja	10	883.000
Uniones T, codos, reducciones.	100	4.110.750
Tubería	-	1.623.000
Total	153	42.818.039

Tabla 12: Costo de equipos. Fuente : El Autor

El costo de de los equipos y materiales por unidad asciende aproximadamente a 8.537.807 Bs. Obteniéndose un costo total de 42.818.039 Bs.

6.1.2 Costo Asociado a la Instalación

6.1.2.1 Por Parte de Contratista

El costo exacto asociado a la instalación será aportado por una contratista, pero para efectos de estimación de costos la Gerencia de la Planta O.A.M. considera que entre el 25% y 30% sobre el costo total de los equipos es una suma adecuada, razón por la cual se escoge un 30% adicional para la estimación del costo del proyecto.

Costo de Instalación \approx 30% Costo de los equipos

Costo de Instalación \approx 12.845.411 Bs

6.1.2.2 Por parte de Empleados de la Planta

Para realizar esta instalación es necesario que la unidad esté detenida, por lo tanto se debe esperar a que la unidad se encuentre en *Mantenimiento Tipo A* ó mayor.

Se necesitará la colaboración de una persona encargada de la integración de los equipos al sistema de control, calibrar los equipos y supervisar la instalación. Esta persona debe tener acceso al sistema de control de la planta de tal forma que pueda poner en marcha desde el punto de vista de control el proyecto. No se estiman costos adicionales para esta persona salvo que sobrepase el horario normal de trabajo. Entonces bajo estas condiciones se deberá pagar horas extras.

6.1.3 Costo Total Estimado

Aquí se suman los costos de materiales y equipos a los costos de instalación

Costo total \approx 42.818.039 + 12.845.411

Costo total \approx 55.663.450 Bs

Se debe recordar que este costo tota estimado es un valor que puede variar notablemente debido a qué está sujeto al costo de equipos que varían de acuerdo al aumento inflacionario. Además el valor que cobrará la contratista también estará sujeto a esto.

Conclusiones
Recomendaciones
Referencias

CONCLUSIONES

El sistema de aire de instrumentación representa para las unidades de generación eléctrica a gas que existen en la planta O.A.M. un sistema indispensable para su funcionamiento. Una falla en este sistema pudiera causar en primera instancia la detención de la generación por parte de esa unidad, pero en otra instancia pudiera causar pérdidas cuantiosas por el daño físico. En este punto radica la necesidad del diseño del sistema de respaldo.

- La concepción de este sistema es actuar sólo en casos de emergencia, puesto que el aire que respaldará el sistema de instrumentación, no necesariamente cuenta con las condiciones óptimas para los dispositivos neumáticos. Sin embargo, tomando en cuenta que sí entra en operación este sistema, es porque existe una situación de emergencia, entonces, fácilmente se justifica su utilización.

- Lo ideal para las unidades es que nunca entrara en funcionamiento el sistema de respaldo, lo que quisiera decir, que nunca existiría una situación de emergencia. Pero como los equipos y sistemas pueden fallar de forma inesperada se hace necesario estar preparados para estas hipotéticas situaciones.

- El sistema diseñado tiene la responsabilidad de actuar automáticamente en caso de producirse una caída de presión, de manera que evite o disminuya los riesgos de perder una unidad por un problema de este tipo.

- Una de las consideraciones importantes del nuevo sistema es la utilización de un equipo para el seguimiento del valor de la presión en todo momento, esto para, tener una tendencia del comportamiento de la presión del aire en un periodo de tiempo, con lo cual se pudieran estudiar las fallas que ocurren y posiblemente

disminuir la frecuencia de éstas. Además, la señal del transmisor puede alertar una posible falla incluso antes de producirse una alarma, si se está pendiente del comportamiento de la presión en el monitor.

- También se cuenta en el sistema de respaldo con dos interruptores de presión, que al igual que el transmisor de presión ayudará a mantener una vigilancia y un mayor conocimiento del sistema de aire de instrumentación.

- El sistema de respaldo cuenta con una serie de equipos que fueron seleccionados de forma muy cuidadosa y teniendo como principal referencia los equipos instalados originalmente que son utilizados actualmente dentro de las unidades. De forma de tener referencia de su funcionamiento y mantenimiento, y además la homologación de marcas y modelos para el almacenamiento de manera de no incrementar los costos de forma innecesaria. Adicionalmente, se consideraron las especificaciones técnicas de los equipos, comparándolas con las especificaciones requeridas para el buen funcionamiento del sistema.

- Como se conoce, uno de los alcances de este proyecto era la realización de un manual detallado de ubicación e instalación del sistema de respaldo dentro de las unidades. Este manual fue realizado tomando en cuenta aspectos desde la facilidad de instalación hasta requerimientos para el buen funcionamiento, sin embargo, no se considera que es la óptima solución, debido a que pudiera existir una solución que aportara mayores beneficios en algún aspecto u otro. Es por esto que en el manual de instalación se hace referencia a *“Se deben respetar las indicaciones aquí expuestas. Cualquier modificación para el mejoramiento o facilidad de instalación deberá ser consultada con el supervisor de la misma.”*

- Inicialmente se concibió a las cinco unidades de generación como idénticas, razón por la cual, en principio toda la documentación fue orientada sin ninguna distinción de, a cuál unidad específicamente estaba referida. Pero debido a algunas diferencias con las unidades, se hizo mención en casos necesarios.

- La integración del sistema *Casa de Compresores Atlas Copco*, al resto de los sistemas necesarios para la generación eléctrica, supone una mayor atención en cuanto al mantenimiento de los equipos que lo componen. Por lo tanto, deberá hacerse énfasis en el cumplimiento del mantenimiento aquí planteado.

- Las modificaciones planteadas a la casa de compresores Atlas Copco quedaron reflejadas en el trabajo de investigación aportando una solución que no necesariamente es la más óptima. Para distinguir una solución óptima será necesario evaluar parámetros tanto operativos como económicos.

RECOMENDACIONES

1. Informar a través de reuniones y charlas, el funcionamiento y los equipos que tendrá el sistema de aire de respaldo. Para que cuando ya esté el sistema instalado el personal esté familiarizado con él.
2. Realizar un estudio sobre los resultados obtenidos acerca de la casa de compresores Atlas Copco, para evaluar qué solución de disposición de equipos resulta más óptima.
3. Adelantar el estudio de las modificaciones de la casa de compresores Atlas Copco antes de realizar la instalación del sistema de respaldo. De manera de integrar ambas labores a una sola.
4. Desconectar los servicios de planta de la toma de la casa de compresores y adaptarlos a unos compresores de menor capacidad, de forma que no entorpezcan alguna emergencia que pueda presentarse.
5. Diseñar un despliegue para ser observado en las consolas de la sala de operaciones, de forma, que pueda verse a través de un diagrama las condiciones del sistema de aire, utilizando para ello la herramienta Graphic Builder disponible en el sistema de control.
6. Mantener en almacén al menos un repuesto para cada equipo del sistema de manera de que si se presentase alguna falla imprevista de alguno de estos, tener a la disposición un repuesto.
7. Llevar el seguimiento del comportamiento de los sistemas de aire de instrumentación de forma de intentar prevenir posibles fallas. Este seguimiento es posible llevarlo debido a que el sistema de control almacenará los históricos de los puntos referentes al sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACHMAN, Forberg. **“Dibujo Técnico”**. 2^{da} Edición. Edit. Labor. 1968.
2. CENGEL, Yunus y Boles M. **“Termodinámica”**. Edit. Mc. Graw Hill. 2^{da} Edición. Nueva York. 1998.
3. SOLE, Antonio. **“Instrumentación Industrial”**. Publicaciones Marcombo. México 1981
4. HAMANA, Salazar. **“Técnicas de Mantenimiento Organizado”**. Edit. Facultad de Ingeniería, Escuela de ingeniería Mecánica, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 1989.
5. LEE, J.F. **“Theory and design of steam and gas turbines”**. MacGraw-Hill. New York, USA, 1999.
6. MORROW, L.C. **“Manual de Mantenimiento Industrial”**. Editorial Continental. México 1986.
7. MOTT, Robert. **“Diseño de Elementos de Máquinas”**. 2^{da} Edición. Edit. Prentice Hall Hispanoamericana. México D. F. 1995.
8. POTTER, P. **“Power Plant Theory and Design”**. The Roland Press Co. 1 New York, USA 959.
9. ROYO, Carnicer. **“Aire Comprimido. Neumática Convencional”**. Edit. Gustavo Gill, Barcelona 1980.

10. ROLLINS, Jhon. **“Compressed Air and Gas. Hand Book”**. Fourth Edition, New York 1973.
11. SABINO, Carlos. **“Cómo Hacer una Tesis y Elaborar Todo Tipo de Escritos”**. Edit. PANAPO Caracas. 1994.
12. SABINO, C. **“El proceso de Investigación”**. Edit. PANAPO Caracas. 1992.
13. SHIGLEY, J. y Mischke, C. **“Diseño en Ingeniería Mecánica”**. 5^{ta} Edición. Edit. Mc. Graw-Hill. México D. F. 1997.

Manuales y Catálogos:

- Asco Valves. **“Instrucciones de Instalación y Mantenimiento”**. El Cerillo México. 1998.
- Atlas Copco. **“Manual de aire comprimido y sus aplicaciones”**. Caracas 1982 Rev. 1997
- Atlas Copco. **“Operación y Mantenimiento de Compresores GA y Secadores FD”**. Universidad Metropolitana. Caracas, Venezuela. 1995.
- Atlas Copco. **“Curso Sobre Operación y Mantenimiento de Compresores de Aire”**. CD Interactivo. Disponible en Planta O.A.M. Caracas 2002.
- Pneumatic Products. **“Drain Valves. Specifications”**. Florida. 2002.
- Mercoid Division Dwyer Instrument, Inc. **“Installation Instructions”**. Michigan City, USA. 1990.
- Rosemount Inc. Model 3051. **“Smart Pressure Transmitter Family”**. Mn USA. 1999.

Rosemount Inc. Rosemount Measurement. Modelo 1151. **“Trasmisores de Presión”**. Mn USA. 1993.

Siemens Westinghouse. **“Auxiliary Equipment; Power Generation Business Unit”**. Orlando Fl. 2000.

Siemens Westinghouse. **“WEStation Software Overview Manual. Pittsburgh”**. USA. 1997.

Siemens Westinghouse. **“W501D5 Control Setting Specification”**. Orlando, Fl. 1993 Rev. 2000.

Westinghouse Electric Corporation. **“Master Table of Contents”**. Orlando Fl. 1993.

Westinghouse Instruction Book. **“Combustion Turbine Electrical Generating Plant Model W-501D5”**. Orlando Fl. 1993.

Westinghouse Instruction book. **“Installation and Inspection W501D. 2.7”** Orlando Fl. 1993.

Trabajos de Grado e Informes de Pasantías:

Araujo Hécmar. Trabajo de Grado. **“Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos asociados a las turbinas de la planta termoeléctrica Oscar Augusto Machado”**. Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre. Caracas. 2004.

Di Fabio José Antonio. Trabajo de Grado. **“Estudio del rendimiento de una turbina de combustión modelo W501D5 de la EDC al aplicar el método de enfriamiento del aire de entrada al compresor y al efectuar el precalentamiento del combustible”**. Universidad Metropolitana. Facultad de Ingeniería. Caracas. 2003

Fuentes Marialbert. Informe de Pasantías. **“Realización de un índice de instrumentos para el mantenimiento preventivo de las unidades de generación de la planta OAM”**. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas. 2003.

González Miguel. Tesis de Grado. **“Diseño y Cálculo de sistemas de aire comprimido mediante utilización de un programa computarizado”**. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Caracas. 1987.

Newman Hevely. Tesis de Grado. **“Estudio y mejoramiento del sistema neumático de instrumentación de una planta de turbinas a gas”**. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Caracas. 1998.

Rizzi Verni Vanessa. Informe de pasantías. **“Secuencia de montaje de una unidad turbogeneradora”**. Universidad Simón Bolívar. Facultad de Ingeniería. Octubre 2000.

Normas:

ISO Nro 1217. Unidades estándar de volumen de aire

FSO VG68 & ISO 3448. Calidad del Aire

API RP550-1974. Calidad del Aire (Normas de instrumentación)

ISO 8573-1. Grados de calidad del aire

ISA 57,3. Calidad del Aire (Normas de instrumentación)

Consultas en Línea:

La Electricidad de Caracas EDC.
Disponible en: <http://edc-ven.com> 14/12/2004

Neumática e hidráulica
Disponible en: <http://www.sapiensman.com> 20/01/2005

Normas Nema
Disponible en: <http://www.nema.org> 17/02/2005

Oficina de Planificación del Sistema Interconectado OPSIS.
Disponible en: <http://opsis.com.ve> 14/12/2004

Termodinámica

Disponible en <http://www.geocities.com/CollegePark/Field/6710/brayton.html>
11/01/2005

Turbinas a Gas

Disponible en: <http://www.gas-turbines.com> 11/01/2005

Válvulas Asco

Disponible en: <http://www.ascovalves.com> 20/01/2005

Válvulas Swagelok

Disponible en: www.swagelok.com.mx 18/01/2005