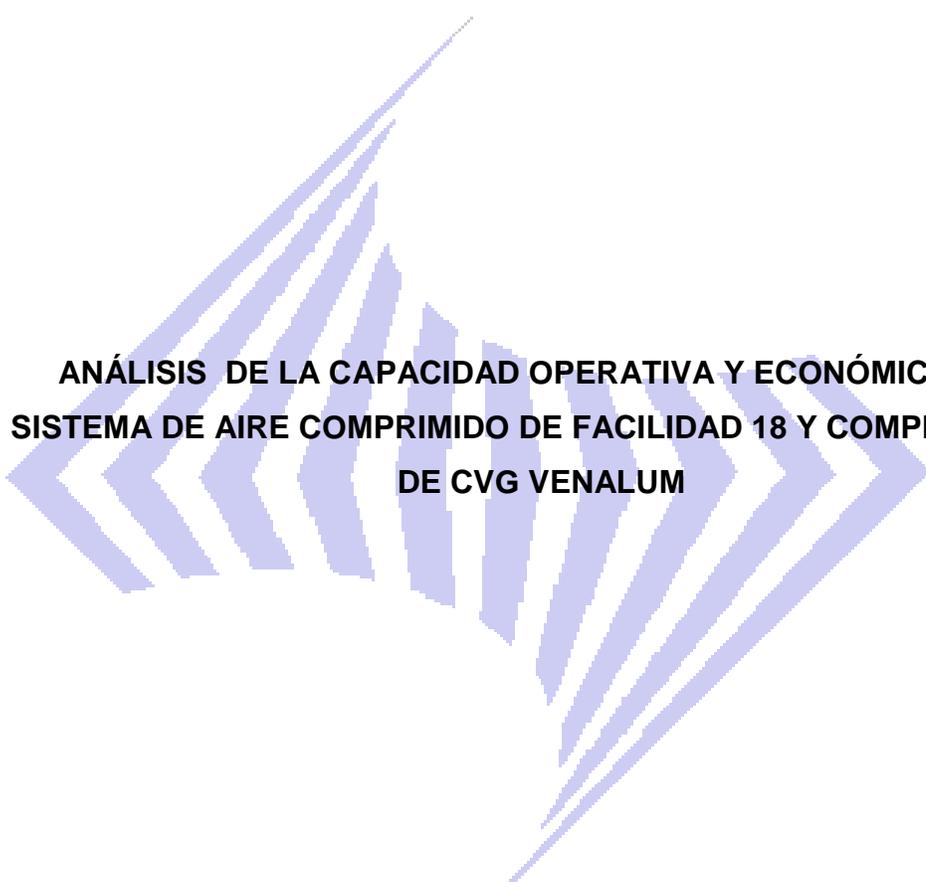


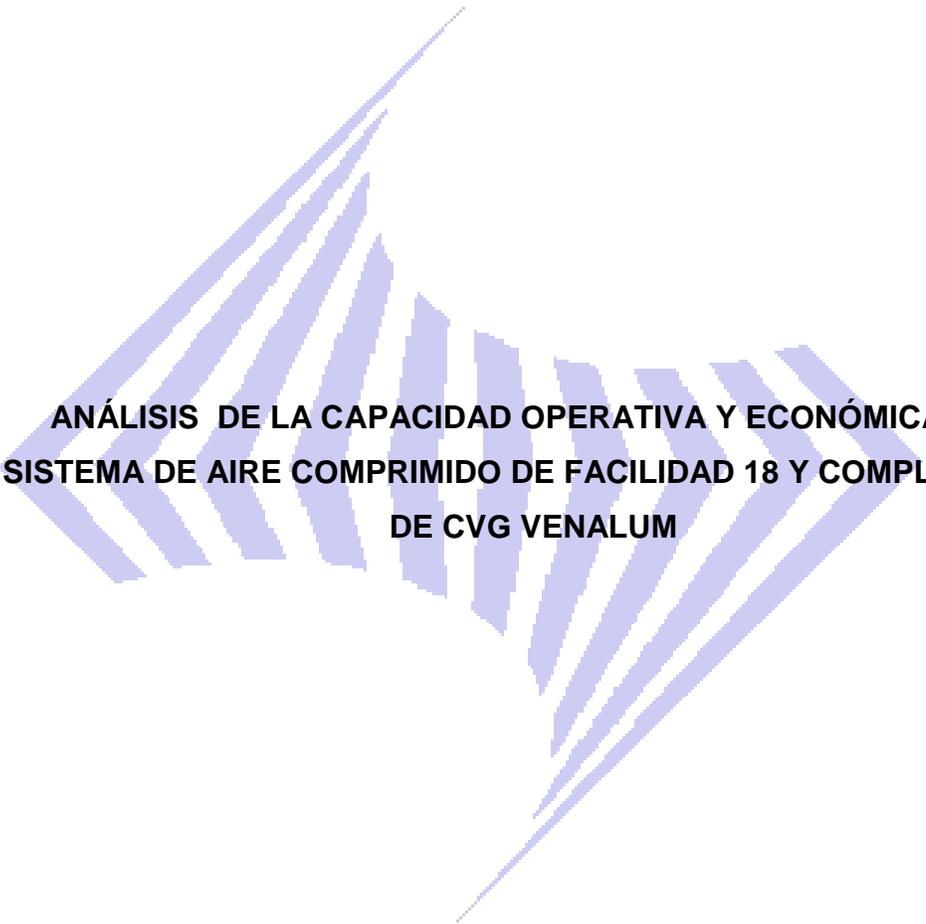
**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICERRECTORADO PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADO**



**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA Y ECONÓMICA DEL
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE FACILIDAD 18 Y COMPLEJOS I-II
DE CVG VENALUM**

Autora: Anés Rodríguez, Andreína Teresa

CIUDAD GUAYANA, AGOSTO DE 2011



**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA Y ECONÓMICA DEL
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE FACILIDAD 18 Y COMPLEJOS I-II
DE CVG VENALUM**

U
N
E
X
P
O

**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICERRECTORADO PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADO**

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA Y ECONÓMICA DEL
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE FACILIDAD 18 Y COMPLEJOS I-II
DE CVG VENALUM**

Trabajo de Grado presentado ante el Departamento de Ingeniería Industrial de la UNEXPO Vicerrectorado Puerto Ordaz como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial.

Br. Anés Rodríguez, Andreina Teresa

Ing. Andrés Eloy Blanco
Tutor Académico

Ing. Antonio Montaña
Tutor Industrial

CIUDAD GUAYANA, AGOSTO DE 2011

ANDREINA TERESA ANÉS RODRÍGUEZ

“Análisis de la Capacidad Operativa y Económica del Sistema de Aire Comprimido de Facilidad 18 y Complejos I-II de CVG Venalum”

241 Pág.

Trabajo de Grado

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”.
Vicerrectorado Puerto Ordaz. Departamento de Ingeniería Industrial.

Tutor Académico: Ing. Andrés Eloy. Blanco.

Tutor Industrial: Ing. Antonio. Montaña.

Puerto Ordaz, Agosto de 2011

Capítulos: I. El Problema. II. Generalidades de la Empresa. III. Marco Teórico. IV. Marco Metodológico. V. Situación Actual. VI. Resultados. Conclusiones. Bibliografía. Páginas Electrónicas. Recomendaciones. Apéndices y Anexos

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICERRECTORADO PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, miembros del Jurado Evaluador designados por la Comisión de Trabajos de Grado del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Vicerrectorado Puerto Ordaz, para evaluar el Trabajo de Grado presentado por la ciudadana: : **ANDREINA TERESA ANÉS RODRÍGUEZ**, portador de la Cédula de Identidad N^o **V-19.434.359**, titulado: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA Y ECONÓMICA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE FACILIDAD 18 Y COMPLEJOS I-II DE CVG VENALUM**, para optar al título de **INGENIERO INDUSTRIAL**, consideramos que este cumple con los requisitos exigidos para tal efecto y por lo tanto lo declaramos **APROBADO**.

En Ciudad Guayana a los once días del mes de Agosto de dos mil once

Ing. Andrés Eloy Blanco
Tutor Académico

Ing. Antonio Montaña
Tutor Industrial

MSc. Ing. Ivan Turmero
Jurado Evaluador

Ing. Monica Torres
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios, porque es y será mi compañero y guía incondicional.

A mi Madre Moravia Rodríguez, por ser un ser tan único, maravilloso y especial, que ha estado siempre conmigo, ha sabido escucharme y apoyarme, dándome consejos y palabras de aliento cuando más lo he necesitado, mi mejor amiga, mi confidente, porque Te Amo, mami esto es para ti.

A mi Padre Francisco Anés, por ser una gran persona, que ha estado siempre pendiente de mi, que ha contribuido a mi formación personal, preocupándose por mi Bienestar y Futuro, Te Amo, esto es para ti Papá.

A mi Hermano, Francisco Anés, que me llena de alegría con sus ocurrencias y ve en mi el modelo a seguir, esto es para ti manito.

A mis Abuelos, Gloria López y Francisco Anés, porque desde niña me han dado cuidados, cariño, comprensión, me han enseñado las cosas de la vida, les debo mucho de lo que soy, los Adoro, esto es para ustedes.

A todos mis demás familiares, en especial a mi Tía Amalia Anés, por ser una Persona que me ha inculcado grandes principios y valores, que me han ayudado a ser lo que soy y a alcanzar las metas propuestas en mi vida.

A mi Abuela Driva y Tío Fredis Navarro, porque aunque ya no están conmigo físicamente siempre estarán en mi corazón, y sé que desde el cielo son los luceros más lindos que iluminan mis senderos y me protegen en todo momento, los Quiero.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi Virgencita “Rosa Mística” y San Expedito, por estar guiándome en cada paso que doy, por darme la fuerza, la sabiduría y la paciencia que necesite para hacer este sueño realidad.

A mis padres Moravia Rodríguez y Francisco Anés, por darme la vida, por estar allí, escuchándome, guiándome, por ayudarme a ser quien soy, por enseñarme que con fé, paciencia y persistencia se mantiene el logro de los propósitos y se alcanza la meta, mil gracias, LOS ADORO.

A mis Tíos Gustavo Anés e Ydelma Rangel, por abrirme las puertas de su casa, por el cariño y por el apoyo brindado, durante mi formación universitaria, me hicieron el camino más fácil, Muchas Gracias, se les Quiere Mucho.

A mis tíos Manuel Anés y Marlene Maita, y a mis primas Marlene y Gloria, por su cariño, atenciones y apoyo, los Quiero.

A toda mi familia, por estar pendiente de mi, por el cariño y la confianza brindada, gracias por impulsarme a alcanzar la meta.

A la empresa CVG Venalum por dame la oportunidad de realizar mi Práctica Profesional, a mi tutor Académico Ing. Andrés Blanco, mi tutor Industrial Ing. Antonio Montaña, al igual que al Ing Armando Mora, a Maira, David, Henry, Regulo, Luis por brindarme la ayuda necesaria, conocimientos y asesoramiento para la realización de mi proyecto.

A la UNEXPO, por ser mi casa de estudio, mi segundo Hogar, pues en ella no solo me forme como profesional, sino que compartí momentos inolvidables con profesores y amigos.

A una Persona muy Especial, que ha estado siempre conmigo, mi Gran Amiga, mi Hermana Carolina Ramos, muchos los momentos compartidos, Te Adoro manita, por eso y más agradezco a Dios el haberte conocido a ti y a tu familia, son Maravillosos, mil gracias por TODO.

A mis amigos y compañeros de la universidad, en especial a mis pillinas: Liseth Rondón y Aura Saloma, mi loca Daniela Romero, mi amigo Giordano Cerretani, con ustedes compartí momentos inolvidables, GRACIAS, pues su amistad y compañerismo me han motivado a no olvidar que la Vida es una Experiencia Única y que todo es Posible.

A todas aquellas personas que estuvieron apoyándome dándome fuerzas y palabras hermosas cuando me desvanecía, en especial a mis amigos: Ender Azuaje y George Rodriguez, así como a mis compañeros de pasantía, Luisaida, Vallenilla, Glismar, Yamileth y Angel.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICERRECTORADO PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADO

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA Y ECONÓMICA DEL
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE FACILIDAD 18 Y COMPLEJOS I-II
DE CVG VENALUM

Autora: Anés Rodríguez, Andreina Teresa.

Tutor Académico: Ing. Andrés Eloy Blanco

Tutor Industrial: Ing. Antonio Montaña.

RESUMEN

El presente trabajo, realizado en la Gerencia de Ingeniería Industrial, específicamente en la División de Ingeniería Económica, consiste en el Análisis de la Capacidad Operativa y Económica del Sistema de Aire Comprimido de Facilidad 18 y Complejos I-II de CVG Venalum. El proyecto se enmarca en un Diseño No Experimental, bajo una investigación de tipo Documental-Descriptiva y Evaluativa-Comparativa, sustentado bajo la utilización de herramientas de ingeniería como lo son el Diagrama Ishikawa, Análisis de Pareto y Análisis Estadístico, tanto del comportamiento de fallas como de los índices de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, aunado a una evaluación técnica-económica. Los resultados determinaron que la alternativa de Culminación del Proyecto de Centralización de Aire Comprimido de CVG Venalum, es factible desde el punto de vista técnico-económico, puesto que generará una serie de beneficios que permitirán dar continuidad al proceso productivo con altos niveles de efectividad y eficiencia.

Palabras Claves: Sistema, Aire Comprimido, Estudio Técnico-Económico, Fallas.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	
1. Planteamiento del Problema	3
2. Objetivos de la Investigación	5
2.1 Objetivo General	5
2.2 Objetivos Específicos	5
3. Justificación de la Investigación	6
4. Alcance de la Investigación	7
5. Delimitación de la Investigación	7
CAPITULO II. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	
1. Razón Social y Nombre Comercial	8
2. Ubicación Geográfica	8
3. Espacio Físico	10
4. Reseña Histórica	10
5. Descripción de la Empresa	13
5.1 Instalaciones	13
5.1.1 Planta de Carbón	13
5.1.2 Salas de Reducción	14
5.1.3 Planta de Colada	15
5.1.4 Instalaciones Auxiliares	16
5.2 Productos Elaborados en CVG Venalum	17
6. Sector Productivo	18

7. Tipo de Mercado	18
8. Filosofía de Gestión	18
9. Estructura Organizativa General	19
10. Descripción Funcional del Departamento donde se realizó el Estudio	20
10.1 Gerencia Ingeniería Industrial	21
10.2 División de Ingeniería Económica	21

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes de la Investigación	24
2. Bases Teóricas	25
2.1 Herramientas Utilizadas Para Organizar Y Analizar Datos	26
2.1.1 Diagrama Causa-Efecto	26
2.1.2 Diagrama de Pareto	28
2.2 Mantenimiento	30
2.2.1 Tipo de Mantenimiento	30
2.2.2 Parámetros De Mantenimiento	31
2.3 Inversiones Capitalizables	32
2.4 Estudio de Factibilidad	34
2.5 Evaluación Económica	35
2.6 Métodos Tradicionales De Evaluación De Alternativas De Inversión	36
2.6.1 Valor Presente Neto (Vpn)	37
2.6.2 Costo Anual Uniforme Equivalente (Caue)	38
3. Glosario de Términos	39

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

1. Diseño de la Investigación	43
2. Tipo de Investigación	44

3. Población y Muestra	44
3.1 Población	45
3.2 Muestra	45
4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	46
4.1 Técnicas de Recolección de Datos	46
4.2 Instrumentos de Recolección de Datos	46
5. Procedimiento de la Investigación	48

CAPÍTULO V. SITUACIÓN ACTUAL

1. Sistema de Aire Comprimido	51
2. Situación Actual de Salas de Compresores	55
2.1 Sala de Compresores de Facilidad 18	55
2.2 Sala de Compresores de Complejo I	58
2.3 Sala de Compresores de Complejo II	59

CAPÍTULO VI. RESULTADOS

1. Análisis de las Fallas de los Equipos Ubicados en las Salas de Estudio	63
1.1 Análisis de las Fallas de los Compresores Ubicados en Facilidad 18	65
1.2 Análisis de las Fallas de los Compresores Ubicados en Complejo I	73
1.3 Análisis de las Fallas de los Compresores Ubicados en Complejo II	82
2. Evaluación de los Parámetros de Mantenimiento de los Compresores Ubicados en las Salas De Estudio	91
2.1 Confiabilidad	92
2.1.1 Confiabilidad de los Compresores que integran la Sala de Facilidad 18	93
2.1.2 Confiabilidad de los Compresores que integran	95

la Sala de Complejo I	
2.1.1 Confiabilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo II	96
2.2 Mantenibilidad	98
2.2.1 Mantenibilidad de los Compresores que integran la Sala de Facilidad 18	98
2.2.2 Mantenibilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo I	101
2.2.3 Mantenibilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo II	102
2.3 Disponibilidad	104
2.3.1 Disponibilidad de los Compresores que integran la Sala de Facilidad 18	104
2.3.2 Disponibilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo I	105
2.3.3 Disponibilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo II	106
3. Determinación de la Capacidad Nominal Actual de Aire Comprimido Suministrado por Sala	106
3.1 Capacidad de Generación de Aire de la Sala de Facilidad 18	107
3.2 Capacidad de Generación de Aire de la Sala de Complejo I	110
3.3 Capacidad de Generación de Aire de la Sala de Complejo II	112
4. Estimación del Consumo de Aire en Planta	116
5. Estudio Técnico de la Adecuación del Sistema de Aire Comprimido	135
5.1 Factibilidad Técnica Asociada al Mejoramiento de Cada una de las Salas Generadoras de Aire	135

5.1.1 Sala de Compresores de Facilidad 18	137
5.1.2 Sala de Compresores de Complejo I	138
5.1.3 Sala de Compresores de Complejo II	138
5.2 Factibilidad Técnica Asociada al Proyecto de Centralización de la Generación de Aire Comprimido	139
6. Costos Asociados a las Alternativas a Evaluar	141
6.1 Costos Asociados a la Situación Actual	141
6.1.1 Costos relacionados a la Sala de Facilidad 18	144
6.1.2 Costos relacionados a la Sala de Complejo I	145
6.1.3 Costos relacionados a la Sala de Complejo II	146
6.2 Costos Asociados a la Propuesta de de Mejoramiento de cada una de las Salas Generadoras de Aire Actuales	148
6.2.1 Costos relacionados a Mejoramiento de la Sala de Facilidad 18	148
6.2.2 Costos relacionados a Mejoramiento de la Sala de Complejo I	149
6.2.3 Costos relacionados a Mejoramiento de la Sala de Complejo II	150
6.3 Costos Asociados al Proyecto de Centralización de la Generación de Aire Comprimido	152
7. Evaluación Económica	154
CONCLUSIONES	157
RECOMENDACIONES	160
BIBLIOGRAFÍA	162
PÁGINAS ELECTRÓNICAS	164
APÉNDICES	165
Apéndice A:	166
Gráficos de Comportamiento Mensual de Compresores Sala Facilidad 18	167
Gráficos de Comportamiento Mensual de Compresores	171

Sala Complejo I	
Gráficos de Comportamiento Mensual de Compresores	175
Sala Complejo II	
Apéndice B:	178
Gráficos de Comportamiento Mensual de Equipos Auxiliares Sala Facilidad 18	179
Gráficos de Comportamiento Mensual de Equipos Auxiliares Sala Complejo I	181
Gráficos de Comportamiento Mensual de Equipos Auxiliares Sala Complejo II	183
Apéndice C:	186
Tabla de Tiempos de Mantenimiento Compresores de Sala Facilidad 18	187
Tabla de Tiempos de Mantenimiento Compresores de Sala Complejo I	189
Tabla de Tiempos de Mantenimiento Compresores Sala Complejo II	192
Apéndice D:	198
Curvas de Comportamiento de Confiabilidad y Mantenibilidad de Compresores de Sala Facilidad 18	199
Curvas de Comportamiento de Confiabilidad y Mantenibilidad de Compresores de Sala Complejo I	206
Curvas de Comportamiento de Confiabilidad y Mantenibilidad de Compresores de Sala Complejo II	210
Apéndice E:	215
Tabla de Presiones Promedio de Salida de Compresores ZR y ZA (Marzo 2011)	216
Apéndice F:	217
Tablas de Consumo de Energía Eléctrica Situación Actual para cada una de las Salas Generadoras de Aire	218

Comprimido	
Tablas de Consumo de Energía Eléctrica Alternativa de Mejoramiento de cada una de las Salas Generadoras de Aire Comprimido	218
Apéndice G:	220
Costos de Reposición de las Salas Generadoras de Aire Comprimido Actuales	221
Apéndice H:	223
Tasa de Inflación Anual Promedio de Venezuela	224
Apéndice I:	225
Flujos de Caja Alternativa A. Situación Actual	226
Flujos de Caja Alternativa B. Mejoramiento de las tres salas Generadoras de Aire Comprimido.	227
Flujos de Caja Alternativa C. Proyecto de Centralización de Generación de Aire Comprimido.	228
 ANEXOS	 230
1. Mapa de la Empresa	231
2. Organigrama de Ingeniería Industrial	232
3. Listado de Eficiencia de Compresores Ingersoll Rand	233
4. Diagrama de Válvulas Pinch	234
5. Diagrama Zonas del Sistema de Distribución Fase	234
Densa	
6. Plano de Distribución de Aire Comprimido en Planta	235
7. Modelo de Valor de Reposición de Equipo (ALCASA)	236
8. Tabla de Flujo de Efectivo Discreto: Factores de Interés	237
Compuesto 12%	
9. Tabla Evolución de la Inflación en Venezuela	238
10. Tipo de Cambio 1983-1998 (BS/\$)	238
11. Tipo de Cambio de Referencia Banco Central de	239

Venezuela (Bs/\$)

12. Sala de Compresores Facilidad 18	240
13. Sala de Compresores Complejo I	241

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1	9
2	13
3	15
4	16
5	20
6	26
7	28
8	54
9	57
10	62
11	64
12	66
13	67
14	67
15	69
16	73

17	Comportamiento Mensual de las Fallas de Compresores de Complejo I	75
18	Comportamiento Mensual de las Fallas de Equipos Auxiliares de Complejo I	76
19	Comportamiento Mensual de las Fallas Generales del Sistema de Aire Comprimido de Complejo I	76
20	Gráfico de Barras del Tipo de Fallas Mensuales de los Compresores Complejo I	78
21	Diagrama de Pareto del Tipo de Fallas de Equipos Sala de Complejo I	82
22	Comportamiento Mensual de las Fallas de Compresores de Complejo II	84
23	Comportamiento Mensual de las Fallas de Equipos Auxiliares de Complejo II	85
24	Comportamiento Mensual de las Fallas Generales del Sistema de Aire Comprimido Complejo II	85
25	Gráfico de Barras del Tipo de Fallas Mensuales de los Compresores de Complejo I	87
26	Diagrama de Pareto del Tipo de Fallas de Equipos Sala Complejo II	90
27	Curva de Comportamiento Confiabilidad de Compresores Sala Facilidad 18	94
28	Curva de Comportamiento Confiabilidad Compresores Sala Complejo I	96
29	Curva de Comportamiento Confiabilidad Compresores Sala Complejo II	97
30	Curva de Comportamiento Mantenibilidad Compresores Sala Facilidad 18	100
31	Curva de Comportamiento Mantenibilidad Compresores Sala Complejo I	102

32	Curva de Comportamiento Mantenibilidad Compresores Sala Complejo II	103
33	Diagrama de Comparación de Capacidad Real y Capacidad de Diseño de Cada Sala Generadora de Aire Comprimido	115
34	Diagrama de Capacidad Total Real y Capacidad Total de Diseño	116
35	Diagrama de Pareto Consumo de Aire Comprimido de Unidades Usuarias en Planta	132
36	Distribución de Aire Comprimido en Planta	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Áreas Físicas de la Empresa	10
2	Composición del Capital CVG Venalum	11
3	Descripción de Compresores	52
4	Compresores Sala de Facilidad 18	56
5	Equipos Auxiliares del Sistema de Aire Comprimido en Facilidad 18	56
6	Compresores Sala de Complejo I	58
7	Equipos Auxiliares del Sistema de Aire Comprimido en Sala Complejo I	59
8	Compresores Sala de Complejo II	60
9	Equipos Auxiliares del Sistema de Aire Comprimido en Sala Complejo II	60
10	Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Sala Facilidad 18	65
11	Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Facilidad 18. Clasificación por Tipo	68
12	Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Facilidad 18. Clasificación por Equipo	70
13	13. Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Auxiliares Sala Facilidad 18. Clasificación por Tipo	71
14	Distribución de Frecuencia de Fallas Generales Equipos de Facilidad 18	72
15	Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Sala Complejo I	74
16	Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Complejo I. Clasificación por Tipo	77
17	Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Complejo I. Clasificación por Equipo	79
18	Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Auxiliares Sala	80

	Facilidad 18. Clasificación por Tipo	
19	Distribución de Frecuencia Fallas Generales Equipos Facilidad 18	81
20	Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Sala Complejo II	83
21	Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Complejo II. Clasificación por Tipo	86
22	Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Complejo II. Clasificación por Equipo	88
23	Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Auxiliares Sala Complejo II. Clasificación por Tipo	89
24	Distribución de Frecuencia de Fallas Generales Equipos Complejo II	90
25	Confiabilidad de los Compresores Sala Facilidad 18	93
26	Confiabilidad de los Compresores Sala Complejo I	95
27	Confiabilidad de los Compresores Sala Complejo II	96
28	Mantenibilidad de los Compresores Sala Facilidad 18	98
29	Mantenibilidad de los Compresores Sala Complejo I	101
30	Mantenibilidad de los Compresores Sala Complejo II	102
31	Disponibilidad de los Compresores Sala Facilidad 18	104
32	Disponibilidad de los Compresores Sala Complejo I	105
33	Disponibilidad de los Compresores Sala Complejo II	106
34	Caudales de Diseño de los Equipos Instalados en Sala Facilidad 18	108
35	Capacidad de Diseño de Sala Facilidad 18	108
36	Caudal Real de Equipos de Sala Facilidad 18	109
37	Capacidad de Generación Actual de Aire Comprimido Sala Facilidad 18	109
38	Caudales de Diseño de los Equipos Instalados en Sala Facilidad 18	110
39	Capacidad de Diseño de Sala Complejo I	110

40	Caudal Real de Equipos de Sala Complejo I	111
41	Capacidad de Generación Actual de Aire Comprimido Sala Complejo I	111
42	Caudales de Diseño de los Equipos Instalados en Sala Complejo II	112
43	Capacidad de Diseño de Sala Complejo II	112
44	Caudal Real de Equipos de Sala Complejo II	112
45	Capacidad de Generación Actual de Aire Comprimido Sala Complejo II	113
46	Cantidad Total de Aire Comprimido Según Diseño	114
47	Cantidad Total de Aire Comprimido Actual	114
48	Consumo de Aire Comprimido en Molienda Y Compactación	117
49	Consumo de Aire Comprimido en Sala de Envarillado	118
50	Consumo de Aire Comprimido en Complejos de Reducción	126
51	Equipos que utilizan Aire Comprimido en Sala de Colada	127
52	Consumo Total de Aire Comprimido en Planta	131
53	Distribución de Frecuencia del Consumo de Aire Comprimido en Planta	131
54	Consumo de Aire Comprimido de Unidades Usuarias Abastecidas por Sala Facilidad 18	133
55	Consumo de Aire Comprimido de Unidades Usuarias Abastecidas por Sala de Complejos de Reducción	134
56	Descripción Técnica de Mejoras Sala Facilidad 18	137
57	Descripción Técnica de Mejoras Sala Complejo I	138
58	Descripción Técnica de Mejoras Sala Complejo II	138
59	Descripción General del Proyecto de Adecuación Tecnológica de Centralización de Generación de Aire Comprimido	139
60	Costos de Equipos Actuales Sala Facilidad 18	144
61	Costos de Operación y Mantenimiento Sala Facilidad 18	145

62	Costos de Equipos Actuales Sala Complejo I	145
63	Costos de Operación y Mantenimiento Sala Complejo I	146
64	Costos de Equipos Actuales Sala Complejo II	146
65	Costos de Operación y Mantenimiento Sala Complejo II	147
66	Costos Totales Reposición de Equipos Alternativa A (Situación Actual)	147
67	Costos Totales Operación y Mantenimiento Equipos Alternativa A (Situación Actual)	147
68	Costos de Mejoramiento Sala Facilidad 18	148
69	Costos de Operación y Mantenimiento Mejoras Sala	149
70	Costos de Mejoramiento Sala Complejo I	149
71	Costos de Operación y Mantenimiento Mejoras Sala Complejo I	150
72	Costos de Mejoramiento Sala Complejo II	150
73	Costos de Operación y Mantenimiento Mejoras Sala Complejo II	151
74	Costos de Reposición y Mejoras de Equipos Alternativa B (Mejoramiento de las 3 Salas Generadoras de Aire Comprimido)	151
75	Costos de Operación y Mantenimiento de Equipos Alternativa B (Mejoramiento de las 3 Salas Generadoras de Aire Comprimido)	151
76	Costos Ejecutados del Proyecto De Centralización de Generación de Aire Comprimido	152
77	Costos Inversión Culminación de Proyecto de Centralización	153
78	Costos de Operación y Mantenimiento Proyecto de Centralización Generación de Aire Comprimido	154
79	Resumen Índices de Rentabilidad	156

INTRODUCCIÓN

Las ventajas comparativas de Venezuela para producir aluminio es un tema que ha sido discutido ampliamente en la presente década. Venezuela ha sido considerada como el sitio ideal para la construcción de complejos productores de aluminio a gran escala. Durante los años ochenta los proyectos para la construcción de nuevas plantas dieron origen a propuestas para incrementar la capacidad instalada a dos millones de toneladas anuales. Hoy en día, Venezuela mantiene vigentes esas ventajas en cuanto a existencia de materia prima, por lo que resulta importante promover la inversión, no solo en las plantas existentes, sino también en la construcción de nuevas plantas, aprovechando la tecnología e innovación, para lograr la mejora continua, y así poder competir y subsistir en el mercado mundial.

La industria Venezolana del Aluminio, (CVG, Venalum), es una empresa productora de aluminio primario, cuyo objetivo principal es producir y comercializar aluminio de forma productiva, rentable y sustentable, a través de la optimización de su proceso productivo.

Para apoyar al proceso productivo y operar eficientemente, la planta requiere de un servicio industrial indispensable el aire comprimido, por lo cual es necesario analizar el sistema de aire comprimido de la empresa, desarrollando, unificando y aplicando herramientas técnicas como análisis de frecuencia de fallas, aplicación de gráficos de tendencia y Pareto, diagramas causa efecto, determinación de la capacidad de generación de aire y la demanda del mismo, evaluación técnica-económica, que permitan determinar la posibilidad de ejecución de inversiones que conlleven a la mejora del sistema.

Es por ello, que se aplicó un estudio que siguió los lineamientos de un diseño no experimental, bajo una investigación de tipo documental-descriptiva y evaluativa-comparativa, tomando como muestra a las salas generadoras de aire comprimido más críticas: Facilidad 18, Complejo I y II, que conforman los 24 compresores de tipo pistón y tornillo.

El proyecto se encuentra estructurado cómo se describe a continuación:

El Capítulo I contiene el problema objeto de investigación, objetivos tanto general como específicos, justificación y alcance de la investigación.

El Capítulo II presenta las generalidades de la empresa, su visión, misión, objetivos, estructura, proceso productivo y políticas.

El Capítulo III contiene los antecedentes de la investigación y los fundamentos teóricos claves para el desarrollo del estudio.

El Capítulo IV sujeta la metodología utilizada en el proyecto, el tipo de investigación, la población utilizada para la muestra; así como la técnica manejada para la recolección de datos y los pasos realizados para ejecución del mismo.

El Capítulo V, se fundamenta en la descripción del sistema de aire comprimido y el diagnóstico de la situación de cada una de las salas generadoras de aire, en cuanto a funcionamiento y estado de equipos.

El capítulo VI, muestra los análisis y resultados.

Y por último se encuentran, las conclusiones y recomendaciones que enmarcan el estudio, así como la bibliografía, páginas electrónicas, apéndices y anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

En la realización de toda investigación, es de vital importancia, analizar la problemática que enmarca la necesidad del estudio, así como establecer los objetivos, importancia y delimitación del mismo; en este capítulo se desarrollaran cada uno de estos puntos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa CVG VENALUM, se encarga de producir y comercializar productos de aluminio en forma competitiva y de calidad estándar mundial, garantizando para ello, la disponibilidad operativa de los sistemas y equipos en cantidad, calidad y oportunidad, y ejecutando el proceso productivo en tres (3) áreas principales: 1. Carbón, encargada de producir el ánodo; 2. Reducción, responsable de producir aluminio primario por medio de la electrólisis de la alúmina y 3. Colada, dedicada a producir aleaciones de aluminio de acuerdo a los requerimientos del cliente, para obtener cilindros y lingotes.

Para apoyar al proceso productivo y operar eficientemente, la planta requiere de aire comprimido. Por ello, tiene instalada y en funcionamiento cuatro (4) salas que constituyen el sistema de aire comprimido en la empresa, las

cuales son: Facilidad 18, Sala de los Complejos de Reducción I y I, y Sala de V Línea.

Cada una de estas salas, están integradas por compresores de pistón (Ingersoll Rand) y de tornillo (Atlas Copco), que a través de redes de tuberías, distribuyen el aire requerido por las unidades usuarias dentro de planta, siendo estas las tres (3) áreas productivas de la empresa y las instalaciones auxiliares, es decir, es usado en : Molienda y Compactación, Horno de Cocción, Sala de Envarillado, Complejos (transporte vía fase densa, Sistema Flakt, Trasegado de Aluminio, Accionamiento de Cilindros Rompecostras y Dosificadores), Colada, Servicio de Crisoles, Talleres (Mantenimiento, Automotriz e Instrumentos), Reacondicionamiento de Celdas, Reparación de Transformadores y Estación de Baño.

Con el tiempo, las salas se han ido deteriorando, disminuyendo su capacidad nominal de generación de aire, producto de la corrosión de los sistemas de enfriamiento de los compresores y secadoras, falta de repuestos para realizar los mantenimientos adecuados, obsolescencia de los equipos, aumento del número de fallas en los mismos, por tanto, el factor de servicio ha disminuido y con ello la calidad del servicio.

Debido a esta situación, desde el año 2004, se realizó una propuesta de adecuar el sistema de aire comprimido en la empresa, en la cual se busca eliminar la sala de los complejos I y II, y colocar una sala central que abastezca todos los requerimientos de aire, pese que a la fecha se han presentado trabas en la ejecución del proyecto, y en las salas actuales se agrava la pérdida por desgaste de la capacidad nominal de los compresores instalados, elevándose los costos de mantenimiento, colocando en riesgo el abastecimiento de aire exigido por las unidades usuarias en planta, especialmente, en los complejos de reducción, donde se está llevando a

cabo el plan de reincorporación de celdas, surgen las siguientes interrogantes: ¿Cómo se encuentran actualmente los equipos? ¿Cuáles son las fallas más frecuentes presentadas durante el periodo enero 2009 a enero 2011? , ¿La capacidad de aire generada es la suficiente para abastecer a las unidades usuarias?, ¿Qué modificaciones podrían evaluarse? ¿Serían rentables para la empresa?

Con el objeto de dar respuesta a lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de realizar bajo la dirección de la División de Ingeniería Económica, adscrita a la Gerencia de Ingeniería Industrial, un Análisis de la Capacidad Operativa y Económica del Sistema de aire comprimido de Facilidad 18 y Complejos I y II de CVG Venalum, a fin de conocer el sistema y proponer alternativas que garanticen el óptimo suministro de aire y con ello, el normal funcionamiento de las actividades de producción.

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Son aquellos que indican hacia donde deben dirigirse todo aquellos recursos, sistemas, organización, propósitos, metas. En resumen es lo que se quiere lograr o alcanzar con determinadas acciones. Para el desarrollo del presente trabajo se plantea cumplir los objetivos que se enuncian a continuación:

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la capacidad operativa y económica del sistema de aire comprimido de facilidad 18 y complejos I y II de CVG Venalum.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un diagnóstico de la situación actual del Sistema de Aire Comprimido en cada una de las Salas que integran dicho sistema en la empresa CVG Venalum.

2. Efectuar un análisis de las fallas presentes en los compresores que integran las salas de Facilidad 18 y Complejos I y II.
3. Determinar los indicadores de mantenimiento de los equipos en cada una de las salas.
4. Determinar la capacidad nominal actual de aire comprimido suministrado por sala.
5. Estimar el consumo de aire en general de la planta CVG Venalum.
6. Efectuar un estudio técnico para la adecuación tecnológica del sistema de aire comprimido.
7. Determinar los costos asociados, en función del estudio técnico realizado.
8. Efectuar una evaluación económica para la Adecuación Tecnológica del Sistema de Aire Comprimido.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la empresa CVG Venalum, el sistema de aire comprimido representa una fuente de energía indispensable para la realización de su proceso productivo, actualmente, dicho sistema presenta deficiencias, por lo cual, resulta conveniente efectuar un análisis de la capacidad operativa y económica del mismo, a fin de conocer el estado actual y disponibilidad de los equipos y así realizar, un estudio técnico-económico, que conlleve a su adecuación.

Por tanto, este estudio resulta de gran ayuda para la empresa, pues le proporcionará una visión del estado del sistema, y de esta manera se

ofrecerá asistencia para la toma de decisiones sobre el aporte de los recursos técnicos y financieros necesarios para la renovación tecnológica requerida, y garantizar la continuidad del servicio en cantidad, calidad y oportunidad.

4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se realizó con el propósito de analizar la capacidad operativa del sistema de aire comprimido, a fin de conocer el estado actual, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos que lo integran, proponer alternativas de mejoras y evaluarlas desde el punto de vista técnico y económico, garantizando con ello, la generación de un servicio óptimo en cantidad, oportunidad y calidad, que satisfaga los requerimientos de planta y permitan cumplir con la ejecución del proceso productivo.

5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se realizó en las salas de Compresores de Facilidad 18 y Complejo de Reducción I y II, donde se encuentra los equipos que distribuyen el aire comprimido a las unidades consumidoras de este servicio en planta.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

El presente capítulo presenta una descripción de diversos aspectos de la empresa CVG Venalum, con el fin de conocer el lugar donde se realizará el estudio, facilitando así la comprensión del mismo.

1. RAZÓN SOCIAL Y NOMBRE COMERCIAL

La Industria Venezolana del Aluminio, C.A. (CVG VENALUM), adscrita a la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) y Ministerio del Poder Popular para las Industrias Básicas y Minería, es de capital mixto y por su condición jurídica es una Compañía Anónima.

2. UBICACIÓN GEOGRAFICA

CVG VENALUM está ubicada en la zona Industrial Matanzas en Ciudad Guayana, urbe creada por decreto presidencial el 2 de Julio de 1961 mediante fusión de Puerto Ordaz y San Félix. (Ver Anexo 1).

La escogencia de la zona de Guayana, se debe a los privilegios y virtudes de esta región:

- Integrada por los Estados Bolívar, Delta Amacuro y Amazonas, esta zona geográfica ubicada al sur del Río Orinoco y cuya porción de 448.000 km²

ocupa exactamente la mitad de Venezuela, reúne innumerables recursos naturales. (Ver figura 1).



Figura 1. Ubicación de la Empresa

Fuente: Manual de Inducción de CVG VENALUM

- El agua constituye el recurso básico por excelencia en la región guayanesa, regada por los ríos más caudalosos del país, como el Orinoco, Caroní, Paraguas y Cuyuní, entre otros.
- La presa “Raúl Leoní” en Gurí, con una capacidad generadora de 10 millones de Kw, es una de las plantas hidroeléctricas de mayor potencia instalada en el mundo, y su energía es requerida por las empresas de Guayana, para la producción de acero, alúmina, aluminio, mineral de hierro y ferro silicio.
- La navegación a través del Río Orinoco en barcos de gran calado en una distancia aproximada de 184 millas náuticas (314km) hasta el Mar Caribe.

Todos estos privilegios y virtudes habidos en la región de Guayana, determinan su notable independencia en materia de insumos y un alto grado de integración vertical en el proceso de producción de aluminio.

3. ESPACIO FÍSICO

La empresa cuenta con un área suficiente para su infraestructura actual y para desarrollar aun más su capacidad en el futuro, en el siguiente cuadro se puede observar las dimensiones de las áreas físicas que posee la empresa (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Áreas Físicas de la Empresa

ÁREA	DIMENSIONES
Techada (Edificio Industrial)	233.000 m ²
Construida (Edificio Administrativo)	14.808 m ²
Verdes	40 Ha.
Carreteras	10 Km.
Dimensión Total	1.455.634,78 m²

Fuente: Manual de Inducción de CVG VENALUM

4. RESEÑA HISTÓRICA

La Industria Venezolana de Aluminio, C.A. (CVG Venalum), se constituyó el 29 de agosto de 1973, con el objeto de producir aluminio primario en diversas formas con fines de exportación. Convirtiéndose en una empresa mixta, con una capacidad de 150.000 t/año y un capital mixto de 34.000 millones de bolívares; donde el 80 por ciento fue suscrito por seis empresas japonesas y el 20 por ciento restante de la Corporación Venezolana de Guayana.

Posteriormente, la propuesta fue considerada por el Ejecutivo Nacional y para Octubre de 1974 CVG VENALUM amplía su capacidad a 280.000 Tm/año y se negocia con los socios japoneses, no sólo el incremento del

capital social, sino también un cambio estructural que favorece a Venezuela, tomando CVG posesión del 80 por ciento de las acciones, mientras que la participación japonesa se reduce al 20 por ciento.

El 11 de diciembre de 1974 el capital fue aumentado a 550.000.000 bolívares, por resolución de la Asamblea General Extraordinaria de Accionistas. En octubre de 1978 el capital se incrementó a 750.000.000 bolívares. Donde este aumento fue totalmente suscrito por el Fondo de Inversiones de Venezuela (F.I.V.). Finalmente el 12 de diciembre de 1978 por resolución de la Asamblea de Accionistas, el capital fue aumentado a 1.000.000.000 bolívares, quedando conformado de la siguiente manera. (Ver tabla 2).

Tabla 2. Composición del Capital CVG VENALUM

Inversionista	Capital (Bs.)	Capital (%)
FIV	612.450.000	61,24
CVG	187.550.000	18,76
Consortio Japonés	200.000.000	20,00

Fuente: Manual de Inducción de CVG VENALUM

La primera línea de celdas fue puesta en marcha el 27 enero de 1975 y terminada en diciembre de 1978 y la última línea de las primeras cuatro (04) se comenzó el 27 de octubre de ese mismo año. En 1977 se inicia el funcionamiento de la planta de cátodos y el muelle de carga y descarga sobre el margen del Río Orinoco para atracar barcos de hasta 30.000 toneladas. El 27 de enero de 1978 arranca la celda 302 de la Sala 3, Línea II.

En el año 2002, la empresa conmemoró el acumulado de los 8 millones de toneladas producidas desde el año 1978. Aumentó su producción un 5,8 %

sobre la producción del 2001 y una operatividad al 101,1% de la capacidad instalada de la planta. El mayor logro alcanzado por CVG Venalum en el 2002 fue la cifra récord de producción obtenida de 436.558 toneladas, hecho que la consolida como empresa líder en la producción de aluminio primario para Venezuela y el mundo.

Desde su inauguración oficial, CVG Venalum se ha convertido, paulatinamente en uno de los pilares fundamentales de la economía venezolana, siendo a su vez la planta más grande de Latinoamérica en su tipo, con una fuerza laboral de 3.200 trabajadores aproximadamente y una de las instalaciones más modernas del mundo. Parte de su producto se integra al mercado nacional, mientras un mayor porcentaje es destinado a la exportación, es decir el 75 por ciento de la producción está destinado a los mercados de los Estados Unidos, Europa y Japón, colocándose el 25 por ciento restante en el mercado nacional.

El alcance de expansión de CVG VENALUM apunta a ampliar sus operaciones con la construcción de las VI y VII Líneas de reducción, una Planta de Carbón, una Sala de Colada, una Planta de Extrusión, un Sistema de Manejo y Almacenamiento de Materia Prima, la ampliación de la capacidad del Muelle, Gestión ambiental, Servicios Industriales, instalaciones auxiliares, edificaciones anexas y desarrollo del urbanismo industrial completo.

Actualmente, debido a la desincorporación de las celdas de reducción a finales del año 2009, la capacidad de producción de CVG Venalum está reducida a un 44,31%, pues se encuentran operativas solo 401 celdas de las 905 existentes, sin embargo, se está trabajando en pro de alcanzar la máxima capacidad productiva, a través, del Plan de Reincorporación de celdas.

5. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa CVG VENALUM se encarga de la producción del aluminio, utilizando como materia prima la alúmina, criolita y aditivos químicos (fluoruro de calcio, litio y magnesio). Este proceso de producir aluminio se realiza en celdas electrolíticas. Dentro del proceso de producción de la planta industrial, existen ciertas instalaciones que desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de la misma, los cuales son: la Planta de Carbón, Planta de Colada, Planta de Reducción e instalaciones auxiliares.

5.1 INSTALACIONES

A continuación se realizará una breve reseña de las instalaciones que componen a la empresa CVG VENALUM.

5.1.1 Planta de Carbón

Esta planta tiene como misión garantizar la producción de ánodos envarillados y suministro de baño electrolítico, en condiciones de calidad, cantidad y oportunidad requerida en el proceso de producción de aluminio. (Ver Figura 2).



Figura 2. Vista de la Planta de Carbón
Fuente: Manual Intranet CVG VENALUM

La Planta cuenta con 3 áreas, las cuales son:

- **Molienda y Compactación:** Su objetivo principal es fabricar ánodos verdes. En el área de Molienda y Compactación los ánodos verdes son manufacturados usando tecnología de mezclado tipo batch (existen 16 mezcladoras). Esta tecnología es usada para mezclar coque de petróleo y brea de alquitrán líquida. Esta área dispone de dos (2) precalentadores de agregado seco y tres (3) vibrocompactadoras para transformar la pasta anódica en ánodos verdes. Para el enfriamiento de los ánodos se utiliza un sistema de túnel con boquillas rociadoras.
- **Hornos de Cocción:** En esta área los ánodos verdes son sometidos a un proceso de cocción en hornos especiales durante un período de 16 a 28 días dependiendo del ciclo, con el objeto de tener la dureza y conductividad eléctrica requerida. CVG VENALUM dispone de cuatro (4) Hornos de Cocción con tecnología de hornos cerrados, dos (2) de 48 secciones y dos (2) con 32 secciones, cada uno con un sistema automático de control para lograr una correcta regulación de las temperaturas requeridas.
- **Sala de Envarillado:** En esta área se acopla la varilla y el ánodo cocido para ser debidamente utilizado en las Celdas Electrolíticas, luego es trasladado a las Celdas donde se usan como electrodos positivos del proceso de reducción electrolítica.

5.1.2 Salas de Reducción

En estas salas se realiza la reducción de la alúmina para obtener aluminio primario, de acuerdo al plan anual de producción y en concordancia con los parámetros de calidad, rentabilidad y seguridad.

El proceso de reducción es llevado a cabo en Celdas Electrolíticas, las cuales realizan la transformación de la alúmina en aluminio. El área de reducción comprende 5 líneas, 720 de tecnología Reynolds y 180 de tecnología Hydro Aluminium, para un total de 900 Celdas. (Ver Figura 3).

Adicionalmente existen 5 Celdas de tipo V-350 desarrolladas por ingenieros venezolanos de la empresa. La capacidad nominal de la planta es 430.000 toneladas anuales. El funcionamiento de las celdas electrolíticas, así como la regulación y distribución del flujo de corriente eléctrica, son supervisados por un sistema computarizado que ejerce control sobre el voltaje, la rotura de costra, la alimentación de alúmina y el estado general de las celdas.

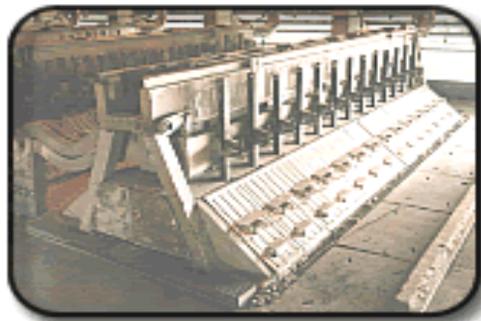


Figura 3. Celda Electrolítica
Fuente: Intranet CVG VENALUM

5.1.3 Planta de Colada

En esta área el aluminio líquido obtenido en las salas de Celdas es trasegado y transferido en crisoles a la Sala de Colada, donde se elaboran los productos terminados. El aluminio líquido se vierte en los hornos de retención y si es requerido por los clientes, los elementos aleantes son añadidos. Cada horno de retención determina la colada de una forma específica: lingotes de 10 Kg., 22 Kg., 680 Kg., cilindros para extrusión y

metal líquido. Una vez que el proceso es completado el aluminio está listo para la venta en el mercado nacional e internacional. (Ver Figura 4)



Figura 4. Planta de Colada
Fuente: Intranet CVG VENALUM

5.1.4 Instalaciones Auxiliares

- **Mantenimiento:** Está formado por los talleres y equipos utilizados que son indispensables para mantener en óptimas condiciones de funcionamiento todas las máquinas e instalaciones de la empresa.
- **Laboratorio:** Esta empresa dispone de modernas instalaciones y equipos para el control de la calidad del metal producido, materias primas, análisis de todo tipo de contaminación y desarrollo de tecnologías aplicadas en las industrias del aluminio.
- **Salas de compresores:** Se encargan de proveer aire comprimido a las instalaciones de la planta, el cual se utiliza para activar equipos neumáticos, de operación, control e instrumentación.
- **Muelle:** En este lugar se reciben las materias primas básicas para la producción de aluminio, y también se embarca el aluminio primario para

trasladarlo hacia los países compradores. Tiene la capacidad de atracar dos (2) buques de hasta 40.000 t.

- **Instalaciones Operativas:** Son aquellas partes que no forman parte del proceso, pero que son indispensables para el buen funcionamiento de la planta. Estas son: Instalaciones Auxiliares de Soporte (Patios de Productos Terminados y de Materias Primas, Suministro de Agua Industrial y Contra Incendio, Aire comprimido y tratamiento de Aguas Negras); Oficinas y Servicios Sociales, Talleres y Almacenes.
- **Planta de Tratamiento de humo (FLAKT):** Se encarga del control ambiental y la recuperación de fluoruro que sale de la celda con el dióxido de carbono. En cada línea de reducción se cuenta con dos sistemas idénticos para la reducción y filtración del humo que expulsan las Celdas, para un total de diez (10) plantas.

5.2 PRODUCTOS ELABORADOS EN CVG VENALUM

La empresa CVG VENALUM produce aluminio de acuerdo a las especificaciones de los clientes nacionales e internacionales. La demanda de los productos es conocida, se produce en forma continua y se distribuye los pedidos por lote. El aluminio producido toma las formas físicas siguientes:

- Lingotes de 22 Kg.
- Pailas de 680 Kg.
- Cilindros para extrusión de diferentes diámetros.

6. SECTOR PRODUCTIVO

La industria del aluminio CVG VENALUM, es una empresa de sector productivo secundario, ya que ésta se encarga de transformar la alúmina (materia prima) en aluminio, el cual es procesado en diferentes formas: cilindros, lingotes y lingotes de 680 Kg; de acuerdo a los pedidos realizados por sus clientes.

7. TIPO DE MERCADO

La estructura de mercado de esta industria es del tipo Monopolio de Estado, por ser una de las dos industrias del aluminio existentes en el país, las cuales no compiten entre sí por pertenecer a la misma Corporación.

8. FILOSOFÍA DE GESTION

- **MISIÓN:** CVG Venalum tiene por misión producir y comercializar aluminio de forma productiva, rentable y sustentable para generar bienestar y compromiso social en las comunidades, los trabajadores, los accionistas, los clientes y los proveedores para así contribuir a fomentar el desarrollo endógeno de la República Bolivariana de Venezuela.
- **VISIÓN:** CVG Venalum será la empresa líder en productividad y calidad en la producción sustentable de aluminio con trabajadores formados y capacitados en un ambiente de bienestar y compromiso social que promuevan la diversificación productiva y la soberanía tecnológica, fomentando el desarrollo endógeno y la economía popular de la República Bolivariana de Venezuela.

- **POLÍTICA DE CALIDAD:** CVG Venalum tiene como Política de Calidad producir y comercializar Aluminio con la participación protagónica de sus trabajadores y proveedores en un Sistema de Gestión que garantiza el mejoramiento continuo y la sustentabilidad de sus procesos y productos satisfaciendo los requisitos de los clientes.
- **POLÍTICA AMBIENTAL:** CVG Venalum empresa productora de aluminio garantiza el mejoramiento continuo de los procesos y se compromete a cumplir con la Legislación Ambiental vigente y con otros requisitos que la empresa suscriba, para contribuir con la prevención y control de la contaminación, con especial énfasis en la emisiones atmosféricas, efluentes industriales y el manejo integral de los desechos para la conservación del ambiente.

9. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA GENERAL

La estructura organizativa de CVG VENALUM es de tipo lineal y de asesoría, donde las líneas de autoridad y responsabilidad se encuentran bien definidas, fue reestructurada y aprobada por la Corporación Venezolana de Guayana el 28 de Febrero del año 2002, debido a la disolución de la Industria Aluminios de Venezuela; y está constituida por gerencias administrativas y operativas. (Ver Figura 5).

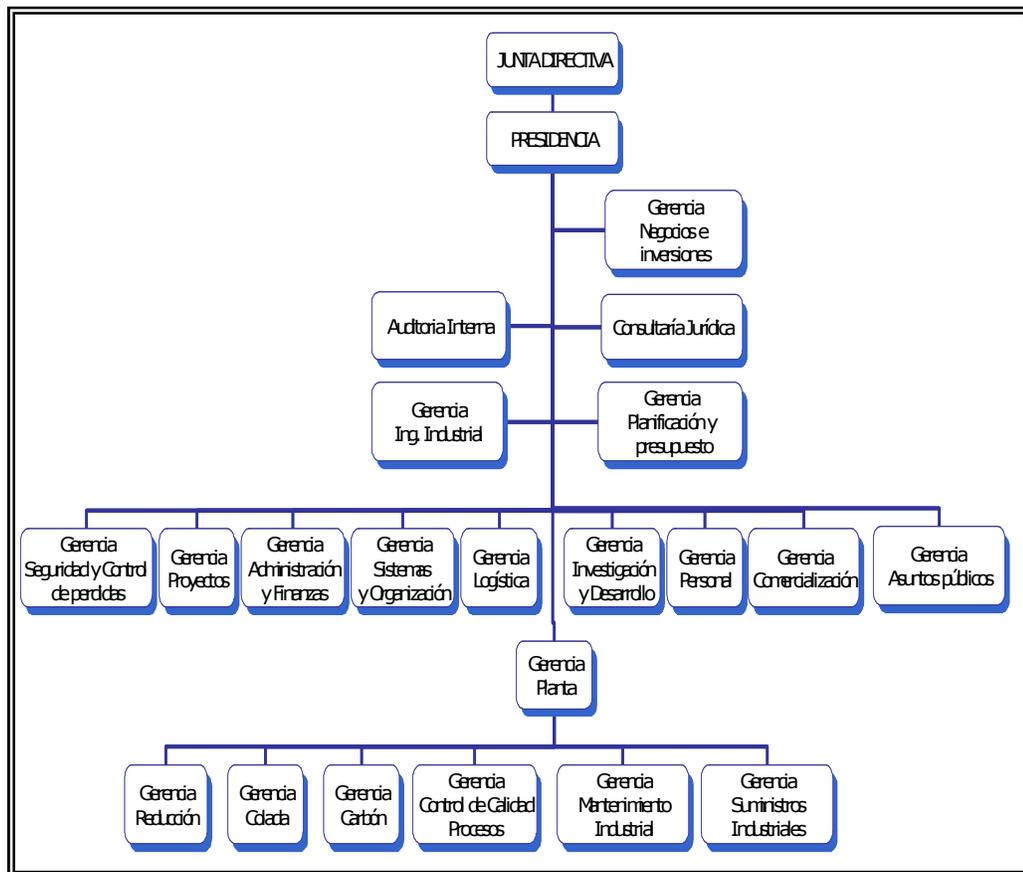


Figura 5 Estructura Organizativa General de CVG Venalum

Fuente: Pagina web de CVG VENTALUM

10. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL DEPARTAMENTO DONDE SE REALIZARÁ EL TRABAJO DE GRADO

La investigación será realizada bajo la dirección de la división de Ingeniería Económica adscrita a la Gerencia de Ingeniería Industrial y el proyecto asignado tendrá lugar en las Salas de compresores de Facilidad 18 y Complejos I y II, donde se encuentran los equipos que generan el aire, y que son atendidos por los Departamentos de Mantenimiento y Operaciones de Sistemas Industriales de la empresa CVG Venalum.

10.1 GERENCIA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Es una unidad staff adscrita a la Presidencia. Tiene como misión suministrar servicios de asesoría y asistencia técnica en materia de Ingeniería de Métodos e Ingeniería Económica que garanticen la calidad y conlleven a la optimización en el uso de los recursos de la empresa así como la mejora continua de sus procesos. Se encuentra conformado por la División Ingeniería Económica y la División Ingeniería de Métodos (Ver Anexo 2).

- **Objetivo General:** Suministrar servicios de asesoría y asistencia técnica en materia de Ingeniería económica y métodos, que garanticen la calidad y que conlleven a la optimización en el uso de los recursos de la empresa, así como la mejora continua de los procesos.
- **Naturaleza:** Es una unidad funcional de staff adscrita directamente a la Presidencia de La Empresa.
- **Misión:** Suministrar servicios de asistencia técnica en materia de ingeniería de métodos e ingeniería económica que conlleven a la racionalización y/o optimización en el uso de los recursos.

10.2 DIVISIÓN DE INGENIERÍA ECONÓMICA

- **Naturaleza y Alcance:** Es una unidad funcional, adscrita a la Gerencia de Ingeniería Industrial.
- **Misión:** Generar alternativas de inversión rentables, cónsonas con la naturaleza y misión de la empresa y adecuada a su capacidad técnica y administrativa.

- **Ámbito Funcional:** A los fines de concretar su misión, la División Ingeniería Económica comprende su actuación en el ámbito funcional siguiente:
 - ✓ Evaluar los requerimientos de inversión, solicitados por las diferentes unidades organizativas de la empresa, referente a evaluaciones económicas realizadas, según los requerimientos de las unidades usuarias, a fin de suministrar información que facilite la elaboración del presupuesto anual de inversiones.
 - ✓ Realizar estudios y análisis de factibilidad de los proyectos de inversión planteados en la empresa, incluyendo objetivos, alcance, antecedentes, beneficios que se esperan y costos estimados de la inversión, a fin de que permitan determinar su realidad técnica y económica.
 - ✓ Realizar estudios de factibilidad económica para la adquisición de bienes y equipos; así como para la sustitución de equipos obsoletos , a fin de emitir las recomendaciones que contribuyan con la toma de decisiones en términos oportuno y confiable.
 - ✓ Realizar la evaluación económica de los proyectos de Inversiones capitalizables, en función al previo análisis de la unidad técnica solicitante, a fin de determinar la factibilidad respectiva.
 - ✓ Preparar el informe consolidado técnico-económico de las inversiones evaluadas factiblemente como capitalizables, de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos, a fin de presentarlo al comité de inversiones y canalizar su aprobación.

-
- ✓ Realizar seguimiento a la ejecución de las inversiones capitalizables aprobadas, así como coordinar conjuntamente con la unidad técnica responsable de la obra y la unidad solicitantes, las acciones que permitan su desarrollo y culminación en los términos requeridos.

 - ✓ Determinar los estándares básicos de producción, mano de obra y gastos así como también, determinar los volúmenes normales de producción y/o servicio, a fin de racionalizar y optimizar los recursos.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta los antecedentes de la investigación, la recopilación de información referente a la revisión literaria y las definiciones de términos claves considerados acordes al enfoque del estudio.

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- Gerencia de Ingeniería de Planta (1997), Informe Técnico AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE PLANTA VENALUM. Este informe proporcionará información sobre los equipos que integran las salas de compresores en la planta.
- Gerencia Control de Calidad y Procesos de CVG Venalum (2009), Informe Técnico SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL PARA LA ADECUACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE CVG VENALUM. Este estudio aportará información de especificaciones y requerimientos supervisorios del sistema de aire comprimido, a fin de manejar con facilidad, el proceso.

- Proyecto presentado a la División de Ingeniería Económica, PROYECTO DE ADECUACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, proporcionará información cronológica de cada una de las salas de compresores, al igual que mejoras que se desean aplicar.
- Mota, Yilber (2010) Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, práctica profesional titulada. ESTUDIO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA TRASEGADO Y OPERACIÓN DE CELDAS P-19 DE CVG VENALUM. Este estudio tiene como objetivo describir y evaluar el funcionamiento del sistema de aire comprimido usado para el trasegado y las operaciones de celda, con objeto de conocer la cantidad de aire generada por Facilidad 18 y la cantidad requerida por los complejos de reducción para la realización de sus operaciones. Los resultados del mismo, arrojaron que el consumo total entre los complejo I y II es de un 87,01% en condiciones estándar, de la cantidad generada por la sala de compresores, y que existen pérdidas de aproximadamente un 15 % en el sistema de tuberías y mantenimiento.

Este estudio será utilizado para conocer la distribución de aire por facilidad 18, y el suministro de aire en los complejos, usando del mismo el procedimiento empleado para el cálculo del consumo de aire por cada subproceso dentro de cada complejo de Reducción.

2. BASES TEÓRICAS

Representan el cuerpo conceptual de ideas coherentes, viables y exhaustivas armadas lógicamente y sistemáticamente para proporcionar una explicación limitada acerca de las causas que explican un hecho. A continuación se presentan las consideraciones y conocimientos de interés para la realización del estudio.

2.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA ORGANIZAR Y ANALIZAR DATOS

2.1.1 Diagrama Causa-Efecto

El Diagrama de Causa-Efecto o Diagrama de Ishikawa es un método gráfico que refleja la relación entre una característica de calidad (muchas veces un área problemática) y los factores que posiblemente contribuyen a que exista. En otras palabras, es una gráfica que relaciona el efecto (problema) con sus causas potenciales.

Está compuesto por un recuadro (cabeza), una línea principal (columna vertebral), y 4 o más líneas que apuntan a la línea principal formando un ángulo aproximado de 70° (espinas principales). Estas últimas poseen a su vez dos o tres líneas inclinadas (espinas), y así sucesivamente (espinas menores), según sea necesario. (Ver figura 6).

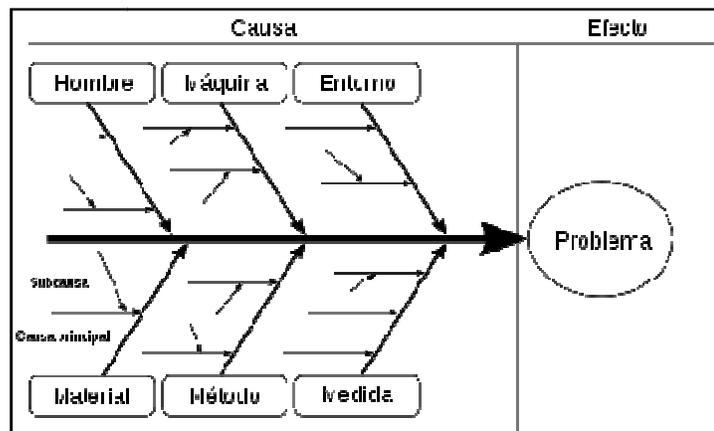


Figura 6. Diagrama Causa-Efecto

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Ishikawa

Esquema Básico De Un Diagrama De Ishikawa

- Las causas del problema se buscan activamente y los resultados quedan plasmados en el diagrama.
- Un DI muestra el nivel de conocimientos técnicos que se han logrado sobre el proceso.
- Un DI sirve para señalar todas las posibles causas de un problema y cómo se relacionan entre sí, con lo cual la solución del problema se vuelve un reto y se motiva así el trabajo por la calidad.

Ventajas Adicionales Que Tiene El Uso Del Diagrama De Ishikawa

- Las causas del problema se buscan activamente y los resultados quedan plasmados en el diagrama.
- Un DI muestra el nivel de conocimientos técnicos que se han logrado sobre el proceso.
- Un DI sirve para señalar todas las posibles causas de un problema y cómo se relacionan entre sí, con lo cual la solución de del problema se vuelve un reto y se motiva así el trabajo por la calidad.

Con la finalidad de identificar de manera gráfica y visual las causas que originan el deterioro y disminución del óptimo funcionamiento de cada una de las salas de compresores, así como las causas de fallas en los equipos, se realizarán diagramas de Causa-Efecto.

2.1.2 Diagrama De Pareto

El Diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas, de modo que se pueda asignar un orden de prioridades, es decir, es una herramienta que se utiliza para priorizar los problemas o las causas que los generan. (Ver Figura 7).

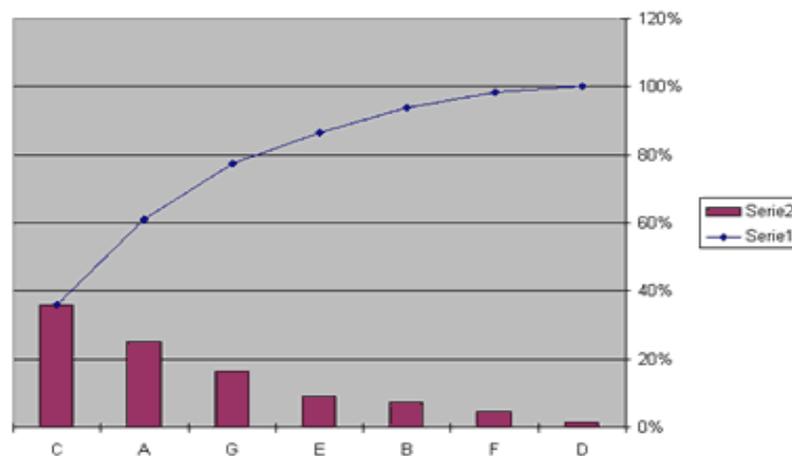


Figura 7. Diagrama de Pareto

Fuente. http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial

Usando el Diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos. Mediante una gráfica podemos observar que la minoría vital aparece a la izquierda de la gráfica y la mayoría útil a la derecha.

Los propósitos generales del diagrama de Pareto:

- Analizar las causas.

- Estudiar los resultados.
- Planear una mejora continua.
- Las Gráficas de Pareto son como fotos de “antes y después” para demostrar qué progreso se ha logrado. Como tal, la Gráfica de Pareto es una herramienta sencilla pero poderosa.

Algoritmo De Uso Del Diagrama De Pareto

1. Selecciona las categorías lógicas para el tópico de análisis identificado (incluir el periodo de tiempo).
2. Reúne los datos.
3. Ordena los datos de la mayor categoría a la menor.
4. Totaliza los datos para todas las categorías.
5. Calcular el porcentaje del total que cada categoría representa.
6. Traza los ejes horizontales (x) y verticales (y primario - y secundario).
7. Traza la escala del eje vertical izquierdo para frecuencia (de 0 al total, según se calculó anteriormente).
8. De izquierda a derecha traza las barras para cada categoría en orden descendente. Si existe una categoría “otros”, debe ser colocada al final, sin importar su valor. Es decir, que no debe tenerse en cuenta al momento de ordenar de mayor a menor la frecuencia de las categorías.
9. Traza la escala del eje vertical derecho para el porcentaje acumulativo, comenzando por el 0 y hasta el 100%.
10. Traza el gráfico lineal para el porcentaje acumulado, comenzando en la parte superior de la barra de la primera categoría (la más alta).
11. Da un título al gráfico, agregar las fechas de cuando los datos fueron reunidos y citar la fuente de los datos.
12. Analizar la gráfica para determinar los “pocos vitales”.

En el Capítulo VI se hará uso de esta herramienta con la finalidad de detectar las fallas principales que afectaron los compresores durante el

periodo de Enero 2009 hasta Enero de 2011, en cada una de las salas de estudio, para así priorizar el 20% de las fallas que generan la mayor parte de los problemas.

2.2 MANTENIMIENTO

Es el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer a un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado. Representa un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa. Por tanto, con el uso de este se garantiza la utilización de un bien físico con máxima productividad y al menor costo.

2.2.1 Tipos De Mantenimiento

- a. Mantenimiento Preventivo:** Son acciones de mantenimiento programado, ejecutadas de manera que no afecten la producción de forma imprevista. Se realiza antes de la ocurrencia de la falla, con un máximo aprovechamiento de la vida útil del equipo.

- b. Mantenimiento Correctivo:** Son acciones de mantenimiento que se ejecutan luego de haber ocurrido la falla. Se clasifican en dos tipos:
 - **Mantenimiento Correctivo de Emergencia:** Es la acción correctiva sobre una falla que obtiene el proceso productivo.
 - **Mantenimiento Correctivo Programado:** Es la acción correctiva sobre una falla que no detiene el proceso productivo y por lo tanto se puede programar.

c. Mantenimiento Rutinario: Son trabajos aplicados frecuentemente para alargar la vida útil de los equipos. Los trabajos más comunes y que caracterizan este mantenimiento son: Lubricación, Inspección, Prueba y Ajuste, y Limpieza.

En CVG VENALUM, en todas sus áreas operativas se realizan mantenimiento del siguiente tipo:

- Mantenimiento Correctivo (1).
- Mantenimiento Programado (2).
- Mantenimiento Preventivo (3).
- Mantenimiento Rutina (4)4

2.2.2 Parámetros De Mantenimiento

Son elementos que permiten determinar la forma en que está funcionando un equipo y el estado de vida útil del mismo. Estos parámetros son:

a. Confiabilidad

Díaz (1992), señala que la confiabilidad “Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado”. La confiabilidad es una característica inherente al número de fallas, y los datos de falla comúnmente se expresan ya sea como tasa de fallas o tasa de riesgo.

b. Mantenibilidad

Es la probabilidad de que un dispositivo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla y cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y con los

medios y procedimientos preestablecidos. Está caracterizada por el tiempo promedio para reparar (T.P.P.R.).

c. Disponibilidad

Es la probabilidad de que un equipo esté en capacidad de cumplir su misión en el momento en que sea requerido. Se puede calcular, si se considera dos estados de funcionamiento en los sistemas, funciona y no funciona, de la manera siguiente:

$$Disponibilidad = \frac{TEF - TAP}{TEF}$$

Donde:

TEF= Tiempo esperado de funcionamiento.

TAP= Tiempo acumulado de paradas, el cual puede ser por fallas, paradas por mantenimiento programado y paradas por causas externas al sistema.

2.3 INVERSIONES CAPITALIZABLES

Es toda inversión que tienda a incrementar el valor de los activos fijos de la empresa, que se justifiquen y permitan lograr los objetivos trazados, se contemplan las operaciones siguientes:

- **Construcciones y adquisiciones originales:** Compra o construcción de un activo fijo nuevo que no existe en la empresa.
- **Ampliaciones:** Son adiciones a las áreas de trabajo o en cantidad de unidades similares de activos fijos existentes. Son realizadas debido a incrementos futuros en la producción para poder cumplir con los compromisos de ventas contemplados dentro del plan operativo de ventas, definiéndose la capacidad necesaria para cumplir con los

compromisos, este tipo de inversión se cataloga como generadora de ingresos, debido a que su propia operación genera bienes, los cuales pueden ser transables para las ventas a terceros.

- **Reemplazo:** Comprende la sustitución total de un activo fijo que es inapropiado para prestar un rendimiento eficiente en condiciones normales de operación, por otro activo fijo en condiciones óptimas para cumplir su cometido.
- **Reconstrucciones:** Consiste en la modificación y reparación total y otros cambios que puedan ser efectuados a los activos existentes, de tal manera que se puedan mejorar las condiciones de trabajo, incrementar la vida útil del activo y buscando disminuir los gastos de la empresa.
- **Adquisiciones:** Se refiere a la compra de un activo que la empresa no posee, bien sea para mejorar un proceso y las condiciones de trabajo, así como también la adición de nueva tecnología al equipo existente, es por tal razón que se considera a la obsolescencia como causante de la adquisición de equipos para la empresa.
- **Mejoramiento:** Comprende modificaciones de áreas, para lograr la combinación de las operaciones que mejoren las condiciones de trabajo, por cuanto hay una reducción del costo de la operación o una mejora general que justifica un incremento del activo. Reparaciones extraordinarias, reconstrucciones totales, reemplazos parciales u otros cambios efectuados a los activos existentes, dando como resultado un aumento de la eficiencia, productividad y calidad del activo fijo, mejora en su vida útil promedio prevista, o una reducción de costos.
- **Adiciones:** Toda construcción o adquisición de bienes similares a activos fijos existentes en la empresa

Una inversión puede ser evaluada a través de los siguientes aspectos:

- Medición de la utilidad o rendimiento en las ventas.
- Medición del rendimiento sobre la inversión.
- Flujo de efectivo: Este determina el cociente del valor actual del flujo de efectivo, basado en la tasa (%) de rendimiento deseado, y el monto de la inversión.

2.4 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Un estudio de factibilidad consiste en ordenar las alternativas de solución para el proyecto (que se aspira a ejecutar), según los criterios elegidos para asegurar la optimización de los recursos económicos, técnicos y humanos, empleados, y los efectos del proyecto en el área o sector de destino.

El estudio de factibilidad de un proyecto tiene como finalidad:

- Determinar las características técnicas de la operación.
- Fijar los medios para implementar la organización requerida y los problemas humanos que conlleva.
- Establecer los costos de operación (estimativos provisionales).
- Evaluar los recursos disponibles reales o potenciales.

La evaluación de un proyecto de factibilidad estará centrada especialmente en los recursos, los cuales se analizarán en 3 aspectos básicos: Operativos, técnicos y económicos, así como en los posibles resultados, por tanto, el éxito del proyecto estará determinado por el grado de factibilidad que se presente en cada uno de los 3 aspectos anteriores. De allí que se contemplen las siguientes factibilidades:

- **Factibilidad Operativa:** Se refiere a todos aquellos recursos donde interviene algún tipo de actividad (procesos), depende de los recursos humanos que participen durante la operación del proyecto. Durante esta etapa se identifican todas aquellas actividades que son necesarias para lograr el objetivo, evaluando y determinando lo necesario para llevarla a cabo.

- **Factibilidad Técnica:** Se refiere a los recursos que son necesarios para efectuar las actividades que requiere el proyecto. Generalmente nos referimos a elementos tangibles (medibles). El proyecto debe considerar si los recursos técnicos actuales son suficientes o deben complementarse.

- **Factibilidad Económica:** Se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse como son el costo del tiempo, el costo de la realización y el costo de adquirir recursos. Por tanto, la factibilidad económica se evalúa a través del análisis de costo-beneficio, el cual compara beneficios y costos del proyecto y, si los primeros exceden a los segundos, se dispone entonces de un primer juicio que indica su viabilidad.

2.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Denominada también Evaluación del Proyecto puro, tiene como objetivo analizar el rendimiento y rentabilidad de toda la Inversión independientemente de la fuente de financiamiento. En este tipo de evaluación se asume que la inversión que requiere el proyecto proviene de fuentes de financiamiento internas (propias) y no externas, es decir, que los recursos que necesita el proyecto pertenece a la entidad ejecutora o al

inversionista. Examina si el proyecto por si mismo genera rentabilidad; las fuentes de financiamiento no le interesan.

Cuantifica la Inversión por sus precios reales sin juzgar si son fondos propios o de terceros, por lo tanto sin tomar en cuenta los efectos del servicio de la deuda y si los recursos monetarios se obtuvieron con costos financieros o sin ellos, hablamos de los intereses de pre-operación y de los intereses generados durante la etapa de operación o funcionamiento del Proyecto.

2.6 MÉTODOS TRADICIONALES DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN

La evaluación de proyectos por medio de métodos matemáticos - financieros es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores financieros, ya que un análisis que se anticipe al futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas en el largo plazo. La aceptación o rechazo de un proyecto en el cual la empresa planea invertir, depende de la utilidad que este brinde proporcione en un futuro frente a los ingresos y a las tasas de interés con las que se evalúen.

Los principales índices de rentabilidad que se utilizan para medir la bondad de un proyecto son:

- VPN: Valor Presente Neto.
- TIR: Tasa Interna de Retorno.
- CAUE: Costo Anual Uniforme Equivalente.
- CC: Costo Capitalizado.

Todos y cada uno de estos índices de rentabilidad deben conducir a tomar idénticas decisiones económicas, lo única diferencia que se presenta es la

metodología por la cual se llega al valor final, por ello es sumamente importante tener las bases matemáticas muy claras para su aplicación.

En ocasiones utilizando una metodología se toma una decisión; pero si se utiliza otra y la decisión es contradictoria, es porque no se ha hecho una correcta utilización de los índices. A continuación se detallan, los dos índices que se consideraran en el análisis de la evaluación económica para las alternativas propuestas en los resultados.

2.6.1 Valor Presente Neto (Vpn)

Según Padilla (2006), el valor presente neto es “la diferencia entre los ingresos y egresos (incluida como egreso la inversión) a valores actualizados o la diferencia entre los ingresos netos y la inversión inicial”

En otras palabras, es un indicador de rentabilidad expresado en una cantidad o valor único, que es equivalente a los flujos monetarios netos del proyecto a una tasa de interés dada (i) que puede representar un beneficio o una pérdida.

Las empresas utilizan el valor presente neto (VPN) del ingreso futuro proveniente de la inversión, para determinar una decisión de inversión. Para calcularlo, la empresa utiliza el valor presente descontado (VPD) del flujo de rendimientos netos (futuros ingresos del proyecto) tomando en cuenta una tasa de interés, y lo compara contra la inversión realizada. Si el valor presente descontado de los flujos es mayor que la inversión, el valor presente neto será positivo y la empresa aceptará el proyecto; si el valor presente descontado fuera menor que la inversión la empresa lo rechazaría, es decir, que los criterios de decisión son los siguientes:

- $VAN > 0 (+)$: si el VAN es positivo indica que con los flujos monetarios neto del proyecto se recupera la inversión inicial se cubre el rendimiento mínimo esperado (i), además se obtiene un beneficio o ganancia que es el valor del VAN, es decir, los ingresos son mayores que los egresos en este caso el proyecto es rentable.
- $VAN = 0$, para este caso los flujos monetarios netos del proyecto recuperan la inversión inicial, cubren el rendimiento mínimo esperado (i), pero no se obtienen ni ganancias ni pérdidas, es decir, los ingresos son iguales a los egresos; por lo tanto se está en un punto de equilibrio o de indiferencia. El proyecto se considera rentable.
- $VAN < 0 (-)$: para esta situación los flujos monetarios netos del proyecto no recuperan la inversión inicial ni cubren el rendimiento esperado (i) y adicionalmente se obtiene una pérdida, es decir, los ingresos son menores que los egresos por lo tanto el proyecto no es rentable.

Por otro lado, además de los criterios de decisión, existen las siguientes consideraciones sobre el VPN:

- En el caso de maximizar beneficios o ganancias, el proyecto a seleccionar es el que tenga mayor valor VAN de todos los proyectos comparados.
- En el caso de minimizar costos, el proyecto a seleccionar es el que tenga el menor VPN de todos los proyectos comparados.

2.6.2 Costo Anual Uniforme Equivalente (Caue)

El método del CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos. Obviamente, si el CAUE es positivo, es porque

los ingresos son mayores que los egresos y por lo tanto, el proyecto puede realizarse; pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado, por tanto, los criterios de decisión son los siguientes:

- $CAUE (t = 1 \rightarrow n) > 0$: los flujos monetarios netos del proyecto permiten recuperar la inversión inicial.
- $CAUE (t = 1 \rightarrow n) = 0$: punto de equilibrio, ingresos iguales a egresos, sólo se pueden cubrir los costos de capital, se cubre el rendimiento mínimo esperado, se puede cancelar préstamos de inversión inicial.
- $CAUE (t = 1 \rightarrow n) < 0$: se tienen pérdidas, no se puede cubrir la inversión inicial ni el rendimiento mínimo esperado por el inversionista.

3. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Aire comprimido:** Aire proveniente de la atmósfera que se comprime a alta presión, a través de un compresor.
- **Alimentador:** Es el dispositivo colocado en la parte inferior de la tolva, cuya función es verter las cantidades de alúmina necesarias para el proceso de reducción, de una forma secuencial y controlada.
- **Alúmina:** Es el óxido de aluminio (Al_2O_3), usado como materia prima para la obtención del aluminio líquido.
- **Alúmina Primaria:** Es la alúmina pura en un 99,99%.
- **Alúmina Secundaria:** Es la alúmina reciclada y combinada con diferentes tipos de fluoruros (Aluminio, Litio, Magnesio).
- **Baño:** Es una mezcla contiene un 90% de criolita fundida y 10% de alúmina.

- **Capacidad de Compresión:** Es el flujo de gas realmente comprimido y suministrado a la velocidad máxima especificada, en condiciones de temperatura, presión y composición del gas existentes a la entrada del compresor.
- **Capacidad Real Comprimida:** Es la cantidad de gas realmente comprimido y suministrado a la descarga del compresor cuando este está funcionando a su velocidad máxima especificada y bajo condiciones de presión nominales.
- **Caudal:** Es la cantidad de aire a presión atmosférica que un compresor es capaz de comprimir en una unidad de tiempo.
- **Cilindro:** Dispositivo neumático para transformar la energía del aire comprimido en energía de movimiento rectilíneo.
- **Compresor:** Es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.
- **Compresor de pistón:** Son del tipo de desplazamiento positivo, de simple y doble efecto, en función de la capacidad de compresión del aire que poseen, al avance o en ambos sentidos.
- **Compresor de Tornillo:** Es un compresor de desplazamiento con pistones en un formato de tornillo, donde las piezas principales del elemento de compresión de tornillo comprenden rotores machos y hembras que se mueven unos hacia otros mientras se reduce el volumen entre ellos y el alojamiento. Es el predominante en la actualidad.
- **Costra:** Solidificación del baño en la superficie del electrolito.
- **Criolita:** Compuesto químico formado por fluoruro, doble de alúmina y sodio, usado como solvente en el proceso de reducción del aluminio.

- **Disponibilidad:** Es el intervalo de tiempo en el cual se garantiza que el equipo puede cumplir las funciones requeridas, dentro de un contexto.
- **Falla:** Es una ocurrencia no previsible inherente al equipo y que impide que éste cumpla su misión.
- **Fase Densa:** Es el encargado de transportar los materiales (Alúmina, Baño molido y Fluoruro de Aluminio) requeridos para la obtención del aluminio líquido.
- **Función:** Es el propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico.
- **Golpe:** Momento en que el alimentador se activa neumáticamente para adicionar alúmina y fluoruro a la celda, a través del dosificador de la celda.
- **Línea:** Tubería o manguera para la conducción de energía desde el punto de producción listo al consumidor.
- **Manómetro:** Instrumento de medida para determinación de la presión.
- **Mantenibilidad:** Característica asociada a la capacidad que tiene un equipo de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria según se especifica.
- **Mantenimiento:** Es el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir con un servicio determinado.
- **Panel de Control:** Dispositivo lógico que permite controlar señales con un fin específico.
- **Presión de Descarga:** Es la presión a la salida del conjunto compresor.
- **Presión de Entrada:** Es la presión a la entrada del compresor, expresada como temperatura absoluta.
- **Punto de Rocío:** Temperatura a la cual el vapor en un espacio comienza a condensarse a una presión dada.

- **Rompecostra:** Dispositivo de una tolva accionado neumáticamente para abrir orificio en las costra por donde se agrega la alúmina y el baño a la celda.
- **SCFM:** Pies cúbicos estándar por minuto o pies cúbicos por minutos a condiciones estándar.
- **Seguridad:** Característica del sistema relativa a su capacidad para prevenir accidentes o para minimizar su ocurrencia y severidad.
- **SIGMA:** Es el sistema integral de mantenimiento, donde los jefes y supervisores de Venalum, colocan los programas de mantenimiento, generan las ordenes y cierres de trabajo, para llevar un control de las actividades ejecutadas diariamente.
- **Sistema (CVG Venalum):** Se le denomina sistema a equipos mayores de planta, que se encuentran ubicados en áreas especificadas de la empresa, por ejemplo, los compresores son un sistema para las áreas de Complejo I y II y Facilidad 18.
- **Sistema Flakt:** Es el encargado del control ambiental y la recuperación de fluoruro que sale de la celda con el dióxido de carbono, usando para ello el aire comprimido generado en la sala de compresores.
- **Tolva:** Recipiente de almacenamiento y dosificación de materiales (alúmina y fluoruro)
- **Trasegado:** Es el proceso operativo que permite extraer el metal (aluminio) que se encuentra depositado en la celda, obtenido como resultado del proceso de reducción del aluminio.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el diseño metodológico que se empleará para el desarrollo de la investigación, precisando el tipo y diseño asociados a la misma, la muestra y los instrumentos a utilizar, así como el procedimiento a seguir para la ejecución de las actividades en la realización del estudio.

1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para Fidias, A (1999), el diseño “es la entrada que adopta el investigador para responder al problema planteado” (Pág. 20).

El estudio realizado para el análisis de la capacidad operativa y económica del sistema de aire comprimido, objetivo principal de la investigación, se enmarca en un Diseño No Experimental, puesto que a pesar de que se trabaja con variables predefinidas, tanto cuantitativas como cualitativas, estas no se manipulan deliberadamente, sino que fueron observadas y analizadas en su fuente de generación. Por tanto, los hechos se estudian tal y como se presentan en su contexto natural, sin alterar o influenciar ninguna de las variables, es decir, los datos fueron recolectados en las áreas donde se genera el aire comprimido (salas de Compresores de Facilidad 18 y Complejos I y II), y en base a ello se formularon alternativas evaluadas

técnica y económicamente que lleven a mejorar el sistema actual, cumpliendo con los objetivos planteados.

2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En base a las estrategias que enmarcan el estudio y el procedimiento empleado para el desarrollo del mismo, se precisa que la investigación cumple con los siguientes tipos:

- Documental-Descriptiva, debido a que se manejaron datos históricos para el análisis de fallas, al mismo tiempo que se presentó una fiel descripción y análisis de la situación actual de cada una de las salas que integran el sistema de aire comprimido, y así se determinó la capacidad de generación de aire de las mismas y el consumo de aire en la planta.
- De tipo evaluativa-comparativa, debido a que se aplicó la metodología del estudio de factibilidad, para evaluar y comparar las alternativas generadas entorno a la adecuación del sistema de aire, desde el punto de vista técnico y económico, que conlleven al mejoramiento continuo del sistema, y con ello se garantice y optimice el proceso productivo de CVG Venalum.

3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Es necesaria la definición de las unidades de estudio, para delimitar el estudio y dar cumplimiento a los objetivos planteados.

3.1 POBLACIÓN

Según Valera Ibarra (1996) la población “es el conjunto completo de individuos, objetos o medidas que poseen alguna característica como observable” (p. 38), es decir, se refiere al objeto de la investigación siendo el centro de la misma, y de ella se extrae la información requerida para el estudio respectivo.

En este sentido, se define como población del estudio al conjunto de Salas de Compresores existentes en CVG Venalum, siendo estas Facilidad 18, V Línea y Complejo I y II , que en total conforman 31 compresores, de los cuales 11 son ZR-5A, 5 son ZR-450, 3 son ZA-5A, 4 son GA90, 2 son GA75, y 6 son Ingersoll Rand.

3.2 MUESTRA

De acuerdo a Salvador Mercado (2002), la muestra se define como “el subconjunto de elementos seleccionados de la población de interés”. (Pág. 54).

En este caso se considera como muestra del estudio a las salas de Compresores de Facilidad 18 y Complejo I y II, que conforman 24 compresores, de los cuales, 7 son ZR-5A, 4 son ZR-450, 3 son ZA-5A , 4 son GA-90, y 6 son Ingersool Rand.

La selección de esta muestra, obedece a que esas salas son las que presentan mayor deterioro, por la obsolescencia Tecnológica y cumplimiento de la vida útil de los equipos que la integran

4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Considerando lo mencionado por Hurtado de B. (2007) se tiene que las técnicas de recolección de datos están directamente relacionadas con los instrumentos. A través de éstas se logra determinar el cómo se va a recabar la información necesaria para el logro de los objetivos y qué instrumentos son los más apropiados.

De modo que las técnicas aplicadas para la obtención de datos confiables, que permitieron el desarrollo de este estudio, fueron las siguientes:

- **Revisión Documental:** Se consultaron todas las fuentes de información posible (materiales de referencia), tales como: libros, manuales, publicaciones en internet, consultas en línea del Sistema de información Interno), referentes al tema de investigación, al igual que se analizaron reportes técnicos, a fin de conocer los antecedentes de cada una de las salas de compresores y su comportamiento.
- **Observación Directa (No participante):** Durante el estudio se efectuó observación directa, dado que es necesario acudir a cada una de las salas, para realizar un diagnóstico de cada una de ellas, y así conocer el sistema actual de generación de aire comprimido de la empresa.

4.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Rojas de Narváez (1997) en torno a los instrumentos de recolección de datos o información expresa lo siguiente:

Por instrumento para recolectar datos o información para una investigación se entenderá todos aquellos medios, herramientas, recursos, métodos, modelos, técnicas o implementos, tales como: cuestionarios (encuestas, pruebas, entrevistas, test), utensilios (herramientas), aparatos, mecanismos, dispositivos, máquinas, equipos, materiales, modelos, sistemas, programas o paquetes de computación u otros objetos que el investigador elabora, selecciona, adapta, produce o crea para efecto de estudio; con el fin de obtener los datos e información de acuerdo con el diseño de la investigación que se planteó. (p. 157).

De acuerdo a esto, los instrumentos aplicados para llevar a cabo la investigación son los siguientes:

- **Entrevistas Informales:** Se realizaron entrevistas informales (No estructuradas), al personal del Departamento de Mantenimiento de Sistemas Industriales, el cual es el encargado del mantenimiento de los compresores que integran cada una de las salas; al igual que a los trabajadores de Complejos de Reducción, Fase Densa, Sistema Flakt, Planta de Carbón, Colada, mantenimiento crisoles y talleres (usuarios del aire comprimido en la planta); esto con el fin de conocer la opinión de la unidad generadora de aire y de los consumidores del mismo.
- **Herramientas Computacionales:** Para la recolección de datos referentes al historial de fallas de los equipos desde Enero 2009 hasta Enero de 2011 se utilizó el SIGMA (Sistema Integral de Mantenimiento del Aluminio), perteneciente a la empresa CVG Venalum.

Por otro lado, en la determinación de los parámetros de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) de los equipos se utilizó el Software Rel-Mant Versión 2001.

Además, se tuvo el uso continuo de los programas incluidos en el Paquete Office de Windows (Word y Excel), a fin de organizar y analizar los datos.

- **Recursos Físicos**

- Cámara Fotográfica.
- Computador e Impresora.
- Equipo de Protección Personal.

5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Para realizar la investigación y dar cumplimiento a los objetivos, se efectuaron los siguientes pasos:

1. Investigación bibliográfica detallada, se revisaron los fundamentos teóricos e información técnica sobre el Sistema de aire comprimido de la empresa CVG Venalum, generado por los compresores que integran la Sala de Facilidad 18 y complejos I y II; al igual, que se efectuaron Consultas al Centro de Información Tecnológica, en manuales de inducción, trabajos e informes disponibles en Intranet y documentos internos, con la finalidad de establecer los conocimientos teóricos y lineamientos necesarios para el desarrollo del estudio.
2. Reconocimiento del área de estudio, para ello se realizaron visitas a cada una de las Salas de Compresores instaladas en planta, al departamento encargado de garantizar el suministro de aire y a las

unidades usuarias de este servicio industrial, para la identificación del Sistema a estudiar, la recopilación de los planos de distribución aire y la observación directa del sistema, a fin de establecer la situación actual del mismo.

3. Recopilación y clasificación de la información de las fallas presentadas en los compresores que integran la Salas de Facilidad 18 y Complejos I y II, en el periodo de enero 2009 hasta enero 2011.
4. Análisis de las fallas de los equipos, para ello se elaboraron gráficos de tendencia y de Pareto, a fin de conocer los focos de atención que se presentan con mayor frecuencia, generando la mayor cantidad de problemas.
5. Determinación de los indicadores de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) de los equipos que integran las salas, en función de los tiempos operativos y los tiempos de paradas, a fin de conocer la capacidad que tiene el equipo para cumplir su misión.
6. Determinación de la capacidad nominal actual de aire generada en planta por cada una de las salas, para ello se realizaron cálculos en Excel, basados en la capacidad de diseño del equipo y el número de equipos actualmente operativos.
7. Estimación del consumo de aire requerido en planta para la realización de las actividades de producción y mantenimiento, para lo cual, fueron considerados caudales de diseño, estudios previos realizados y cálculos de caudales con ecuaciones de mecánica de los fluidos.

8. Realización de un estudio técnico para la adecuación del sistema, en busca de mejorar el suministro de aire en cantidad, calidad y oportunidad.

9. Determinación de los costos asociados para la adecuación del sistema, para ello se contactaron diversas empresas tales como: OTERCA Maquinarias C.A, Ingersoll Rand, Atlas Copco, distribuidora de estos compresores en la zona.

10. Realización de la evaluación económica, para ello se evaluaron los índices de rentabilidad: valor presente neto y costo anual uniforme equivalente, de esta manera establecer la alternativa más beneficiosa.

CAPÍTULO V

SITUACIÓN ACTUAL

En el desarrollo de este capítulo se expone la situación actual de cada una de las salas de compresores, con el fin de conocer los equipos que la integran y el sistema de estudio.

1. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El sistema de aire comprimido está integrado por las Salas de Compresores de Facilidad 18, Complejos de Reducción I y II, y V Línea, las cuales distribuyen el aire a las unidades consumidoras en planta; la red de distribución de aire en cada sala se encuentra constituida por:

- **Filtro del Compresor:** Es el dispositivo utilizado para eliminar las impurezas del aire antes de la compresión con el fin de proteger al compresor y evitar el ingreso de contaminantes al sistema.
- **Compresor:** Es el componente principal de la producción de aire comprimido, encargado de convertir la energía mecánica, en energía neumática comprimiendo el aire. Los compresores existentes en las salas son de dos tipos, de tornillo y pistón.

- **Compresores de Pistón:** Son compresores de dos etapas, de movimiento alternativo, lubricados con aceite a presión, con cilindros enfriados por agua e interenfriadores de superficie integral, que posee un filtro de admisión de aire de tipo industrial. El existente en planta es el Ingersoll Rand, ubicado en la Sala de Compresores de Facilidad 18, con una presión de 125 psi y una capacidad de 2016 Cfm.

- **Compresores de Tornillo:** Son de dos etapas, con tecnología de tornillo y motor eléctrico, enfriados por agua y suministran aire libre de aceite. Los existentes en las salas de Facilidad 18, Complejo I y II son los siguientes: ZR- 5A, ZR-450 Y GA-90.

A continuación, se muestra una tabla donde se detallan las características de estos equipos:

Tabla 3. Descripción de Compresores

TIPO	MARCA	MODELO	PRESIÓN (PSI)	CAPACIDAD (Cfm)	TAMAÑO (m)	CANTIDAD	UBICACIÓN
Pistón	Ingersoll- Rand	XLE-2HC	125	2016		6	Sala de Compresores de Facilidad 18
Tornillo	Atlas Copco	GA-90-FF	130	518	1,6*2,78*2,4	2	Sala de Compresores de Complejo I y II
		GA-90 VSD-FF	130	518	1,3*2,5*1,96	2	
		ZR-450	125	2773	2,8*4,5*2,4	4	Sala de Compresores de Facilidad 18 y Complejo I
		ZR-5A	125	2384	1,38*1,98*1,92	7	Sala de Compresores de Complejo I y II
		ZA-5A	43,8	2373	2,3*3,52*2,20	3	
Total de Equipos						24	

Fuente. Autora

- **Post- Enfriador:** Es el encargado de eliminar gran parte del agua que se encuentra naturalmente dentro del aire en forma de humedad, por tanto cada compresor tiene ajustado en la salida un intercambiador de tubos y este a su vez conectado a un colector de condensado.

- **Receptores de Aire:** Son los tanques que acumulan el aire, a una presión de 135 psig y un volumen de 1.666 gal, estos se encuentran

conectados al colector de condensado y tienen válvulas de desahogo, por tanto cada compresor debería tener un tanque.

- **Secadoras:** Son aquellas encargadas de secar el aire, es decir, permitir que este llegue a la unidad usuaria libre de humedad. Las existentes en las salas de estudio son de tipo refrigerativas:
 - Secadoras de Aire Ingersoll-Rand (Chiller): Diseñadas para 15950 Scfm y para reducir la temperatura de saturación del aire comprimido a 50 °F a 125 psi, ubicadas en Facilidad 18.
 - Secadoras Refrigerativas (FD1600): Refrigeradas por agua para los compresores ZR, ubicadas en Salas de Complejo I y II.
- **Torres de Enfriamiento:** Se encargan de enfriar el agua requerida por las unidades compresoras de aire y las secadoras para el enfriamiento forzado de sus sistemas, las existentes en las salas son las siguientes:
 - Torre de Enfriamiento de 1200 gpm, que requiere para su funcionamiento de un (1) ventilador de 30 Hp y dos (2) bombas de 1000 gpm con una presión de descarga de 40 psi, se ubican en Facilidad 18.
 - Torres de Enfriamiento marca Sulzer, modelo EWK 441 para los compresores ZR y modelo EWK 324 para los compresores ZA, cada una posee dos (2) bombas de circuito cerrado y dos (2) bombas de recirculación para manejar caudales de 29 m³/h y 62 m³/h, respectivamente y tienen un tamaño de 1,8m de ancho* 1,8 m de largo* 2,60m de alto.

- **Áreas de Trabajo:** Son los puntos de suministro del aire comprimido para su utilización en el sistema productivo.

Aunado a ello, es importante resaltar, que cada una de las salas, se encuentran conectadas entre sí, a través de bypass, a fin de brindarse apoyo cuando alguna lo requiera, esquemáticamente el suministro de aire entre ellas es el siguiente:

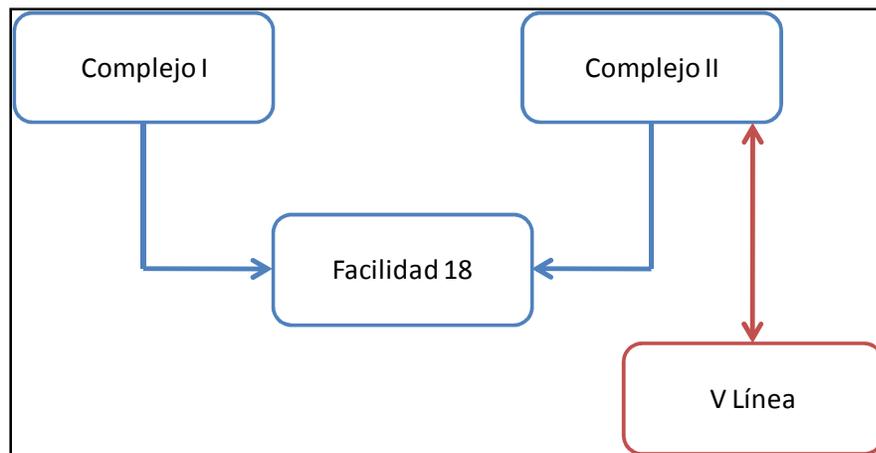


Figura 8. Esquema de interconexión de las Salas de Compresores
Fuente. Autora

De la figura anterior se evidencia, que Complejo II y V Línea se brindan apoyo mutuo, en función de sus requerimientos de aire, ya que el aire generado en ambas salas posee las mismas características (libre de humedad); mientras que Complejo I y Complejo II le suministran aire a Facilidad 18, pero esta no debería brindarle apoyo a los Complejos, porque el aire generado en la misma presenta mucha humedad; sin embargo, actualmente, se está requiriendo con frecuencia del apoyo de Facilidad 18 hacia los complejos, por lo que se colocaron unas trampas de humedad, al final de la tubería que permitan que el aire llegue lo más seco posible a los complejos.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE SALAS DE COMPRESORES

Una vez descrito el sistema de manera general, a continuación se presenta la situación actual de cada una de las salas en estudio y su funcionamiento:

2.1 SALA DE COMPRESORES DE FACILIDAD 18

Es de mencionar, que es la sala más antigua, instalada en 1979 con 5 compresores Ingersoll Rand, para satisfacer la capacidad de producción para ese entonces de 280.00 toneladas de aluminio por año, posteriormente en 1989 se instaló otro compresor, y en noviembre del 2002 y Octubre del 2003, se instaló en cada oportunidad un compresor Atlas Copco, en busca de las mejoras de presión de aire comprimido en la sala. El sistema funciona, generando el aire (compresor), enviándolo a los tanques de almacenamiento, y de allí a las secadoras para eliminar el exceso de humedad que pueda poseer el aire antes de ser enviado a sus clientes. En complemento con el sistema de torre de enfriamiento, que dispone de un sistema de bombas que impulsa el agua para que circule por cada uno de los equipos y retorne a la torre.

Por ende, esta sala tiene 32 años desde su instalación, y actualmente el aire generado en la misma, es usado principalmente en los complejos para el trasegado del metal líquido de las celdas a los crisoles y el accionamiento de los alimentadores y rompecostras de las celdas, en las áreas de Carbón, Colada, mantenimiento de crisoles, reparación de transformadores, reacondicionamiento catódico y talleres. Para ello, cuenta con ocho compresores, dos secadores de aire (Chiller) y dos torres de enfriamiento, distribuidos como se muestra a continuación:

Tabla 4. Compresores Sala de Facilidad 18

MODELO	NÚMERO	MARCA		ESTADO		
		Atlas Copco	Ingersoll Rand	F	D	F.S
ZR-450	A1	X		X		
ZR-450	B2	X		X		
XLE-2HC	C3		X		X	
XLE-2HC	D4		X	X		
XLE-2HC	E5		X	X		
XLE-2HC	F6		X	X		
XLE-2HC	G7		X	X		
XLE-2HC	H8		X			X

F= Funcionamiento; D=Disponibilidad ; F.S= Fuera de Servicio

Fuente. Autora

Se evidencia que seis (6) compresores se encuentran en funcionamiento, uno disponible para el caso que sea necesario incorporarlo por falla y/o mantenimiento de los que están operativos, y un compresor fuera de servicio, por presentar daños en sus partes y componentes, además se desmontó el cigüeñal y el enfriador de aceite para utilizarlo en el compresor C3.

Tabla 5. Equipos Auxiliares del Sistema de Aire Comprimido en Facilidad 18

EQUIPO	CANTIDAD	ESTADO		
		F	D	F.S
Chiller	2	1		1
Torre de Enfriamiento	2	1	1	
Tanque de almacenamiento	8	8		

F= Funcionamiento; D=Disponibilidad ; F.S= Fuera de Servicio

Fuente. Autora

Como resultado, se evidencia que una de las secadoras de aire se encuentra fuera de servicio, debido a que presenta válvulas de selenoide dañadas; y una torre de enfriamiento disponible, para reposición de la actualmente operativa.

Por otra parte, son muchas las causas que han llevado al deterioro y disminución del óptimo funcionamiento de la sala, para indicarlas, a continuación se muestra un diagrama Ishikawa:

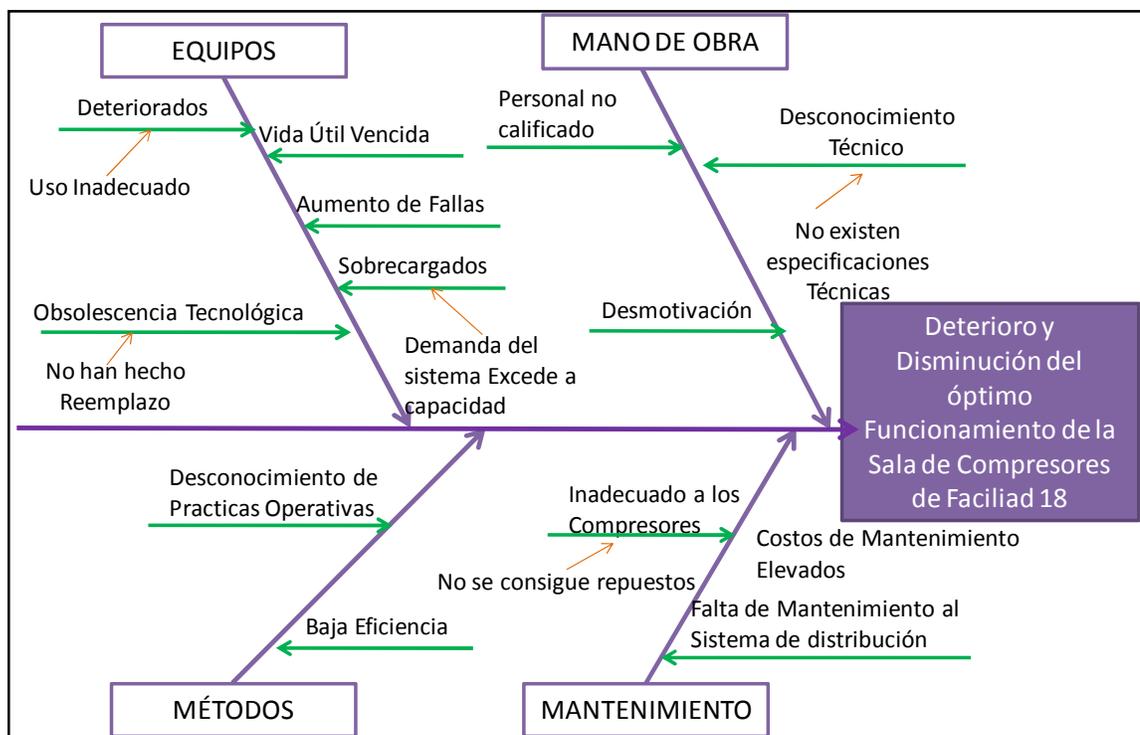


Figura 9. Diagrama Causa-Efecto del Deterioro y Disminución del Óptimo Funcionamiento de la Sala de Compresores de Facilidad 18

Fuente. Autora

2.2 SALA DE COMPRESORES DE COMPLEJO I

Instalada en 1992, debido a la realización de las mejoras operativas (Fase Densa y Sistema Flakt) en las líneas de producción de ese complejo (línea 1 y línea 2), con seis (6) compresores Atlas Copco y luego fueron instalados dos (2) compresores GA para generar alta presión de aire.

En este sentido, la sala ya con 18 años de operación desde su instalación, actualmente posee ocho (8) compresores, cuatro (4) secadoras refrigerativas y seis (6) torres de enfriamiento, tal como se muestra en las tablas siguientes:

Tabla 6. Compresores Sala de Complejo I

MODELO	NÚMERO	ESTADO		
		F	D	F.S
ZR-5A	1	X		
ZR-5A	2	X		
ZR-450	3	X		
ZR-5A	4			X
ZR-450	5			X
ZA	6	X		
GA-90	7			X
GA-90	8			X

F= Funcionamiento; D=Disponibilidad ; F.S= Fuera de Servicio

Fuente. Autora

Se percibe que se encuentran cuatro (4) compresores en funcionamiento, y cuatro (4) compresores fuera de servicio, de los cuales los GA presentan elementos de aire dañados, el ZR-5A no posee elementos de alta y baja y el ZR-450 tiene el piñón del elemento de alta dañado.

Tabla 7. Equipos Auxiliares del Sistema de Aire Comprimido en Sala de Complejo I

EQUIPO	CANTIDAD	ESTADO		
		F	D	F.S
Secadora Refrigerativa	4	4		
Torre de Enfriamiento	6	5	1	

F= Funcionamiento; D=Disponibilidad ; F.S= Fuera de Servicio

Fuente. Autora

Se observa que se encuentran las cuatro (4) secadoras en funcionamiento, mientras que de las torres de enfriamiento están cinco (5) operativas y una (1) disponible, resaltando que tienen serpentines dañados por lo que a menudo, presentan fallas de alta temperatura y se les debe incrementar el mantenimiento.

2.3 SALA DE COMPRESORES DE COMPLEJO II

Esta sala fue instalada en Julio de 1988, producto de las mejoras operativas de las líneas de producción existentes en ese complejo (línea 3 y línea 4), en cuanto a Fase Densa y Sistema Flakt, con 4 compresores ZR y 2 compresores ZA, posteriormente fueron instalados 2 compresores GA para compensar el aumento de requerimiento de aire.

Resumiendo, la sala tiene 23 años de operación desde su instalación y actualmente se encuentra integrada por ocho (8) compresores, cuatro (4) secadoras y seis (6) torres de enfriamiento, como se muestra a continuación:

Tabla 8. Compresores Sala de Complejo II

MODELO	NÚMERO	ESTADO		
		F	D	F.S
ZR-5A	1	X		
ZR-5A	2	X		
ZR-5A	3	X		
ZR-5A	4	X		
ZA	5	X		
ZA	6			X
GA-90	1			X
GA-90	2			X

F= Funcionamiento; D=Disponibilidad ; F.S= Fuera de Servicio

Fuente. Autora

Como resultado, se aprecia que se encuentran cinco (5) compresores en funcionamiento, tres (3) compresores fuera de servicio, de los cuales los dos (2) GA presentan elemento de aire dañado, por tanto, requieren de reparación mayor, y el compresor ZA N°6, está fuera de servicio por falta de elemento de baja, rueda y bomba de aceite dañada.

Tabla 9. Equipos Auxiliares del Sistema de Aire Comprimido en Sala de Complejo II

EQUIPO	CANTIDAD	ESTADO		
		F	D	F.S
Secadora Refrigerativa	4	3		1
Torre de Enfriamiento	6	5		1

F= Funcionamiento; D=Disponibilidad ; F.S= Fuera de Servicio

Fuente. Autor

Se evidencia, que tres (3) secadoras se encuentran en funcionamiento y una (1) fuera de servicio por evaporador y compresor de aire dañado, por su

parte, las torres de enfriamiento cinco (5) están operativas y una fuera de servicio, por daños severos de serpentines y componentes.

Una vez descrito el estado de la sala de compresores de Complejo I y Complejo II, es importante resaltar que ambas salas tienen el mismo sistema de funcionamiento, donde el sistema de enfriamiento es individual para cada compresor, conformado por dos circuitos de agua, uno abierto y uno cerrado, y cada circuito tiene dos bombas, una de funcionamiento y otra de respaldo, por tanto cada compresor tiene cuatro (4) bombas, y las secadoras que se encargan de mantener el punto de rocío de aire (4°C); así el compresor genera el aire, que se descarga a los dos (2) tanques de almacenamiento y de allí pasa a las secadoras para luego ser distribuido.

En consecuencia, el aire generado tanto en Complejo I como en Complejo II es usado, para el accionamiento de las válvulas pinch y globos 3 vías ubicadas en cada celda (compresor GA); transporte vía Fase Densa de baño molido, alúmina y fluoruro de aluminio, a las celdas que lo requieren dentro de las líneas de producción de cada complejo (Compresor ZR-5A y 450); en el sistema de transportación de alúmina Primaria (STAP) y la limpieza de las mangas filtrantes en las PTH (Sistema FIAKT) (Compresor ZA), es decir, que cada sala genera el aire requerido por las líneas de producción en cada complejo.

Por otro lado, estas salas se han deteriorado con el tiempo, siendo la causa potencial del deterioro la ubicación de las salas en medio de dos líneas de producción, que ha llevado al desgaste y corrosión acelerado de los equipos, adicionado a otras causas asociadas al mantenimiento y la mano de obra, por tal motivo, se muestra a continuación un diagrama causa-efecto:

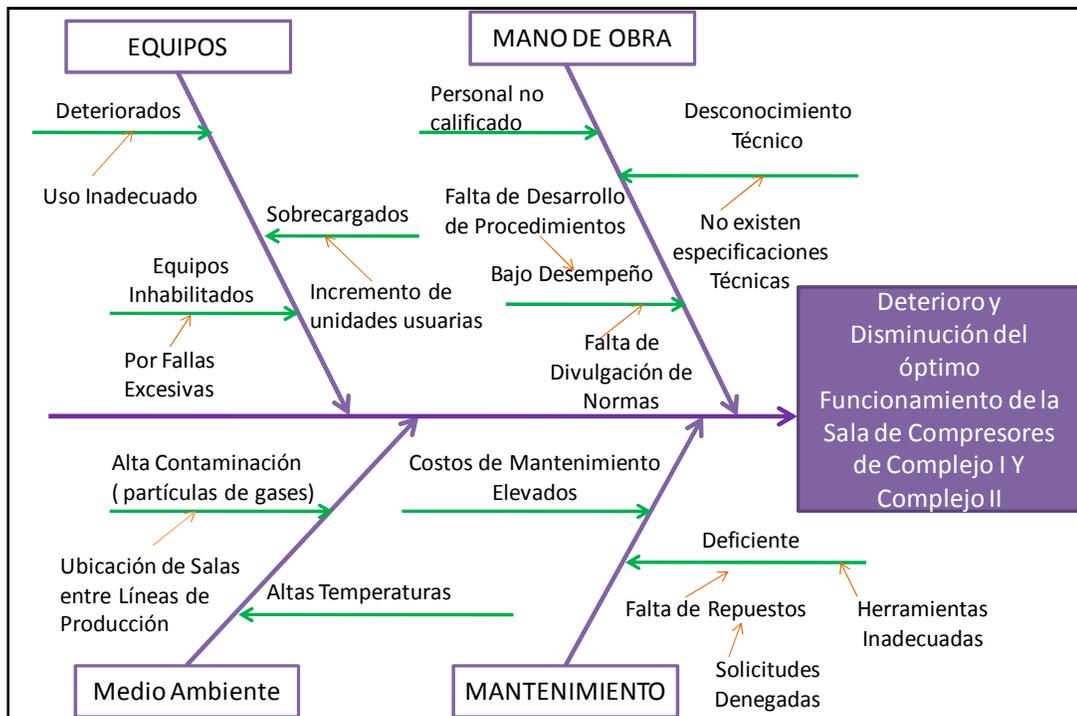


Figura 10. Diagrama Causa-Efecto del Deterioro y Disminución del Óptimo Funcionamiento de la Sala de Compresores de Complejo I y Complejo II

Fuente. Autora

CAPÍTULO VI

RESULTADOS

En el marco de este capítulo se exponen las técnicas aplicadas para la evaluación de la capacidad operativa y económica del sistema de aire comprimido, en base al análisis de las fallas presentes en los equipos, su confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y capacidad de generación de aire, y como consecuencia se desarrollan alternativas evaluadas técnica y económicamente, en busca de mejoras del sistema. Por tanto, se irán presentado los resultados en función de los objetivos planteados.

1. ANÁLISIS DE LAS FALLAS DE LOS EQUIPOS UBICADOS EN LAS SALAS DE ESTUDIO

Uno de los aspectos más importantes es el estudio de las fallas que presentan los compresores y subsistemas (Equipos Auxiliares) que integran cada una de las salas generadoras de aire, de allí cabe señalar que las fallas, en función de su origen, pueden ser dependientes (no atribuibles al equipo) e independientes (atribuidas al equipo en sí), así las primeras se producen por: desconocimiento de las prácticas de trabajo, uso inadecuado de herramientas, falta de mantenimiento o realización inadecuada del mismo, escasez de repuestos, y presencia de agentes contaminantes; mientras que las segundas se atribuyen al desgaste del equipo, ruidos anormales, ciclos de operación prolongados más de lo normal, recalentamiento y desajustes de

partes, presiones desgraduadas, corrosión de tuberías, fugas de aire y agua, esto conlleva a una clasificación de las fallas según su tipo en: mecánicas eléctricas, refrigerativas, neumáticas, electromecánicas, de operación e instrumentación, donde son muchas las causas específicas que generan cada una de ellas, por eso, se muestra el siguiente diagrama Ishikawa.

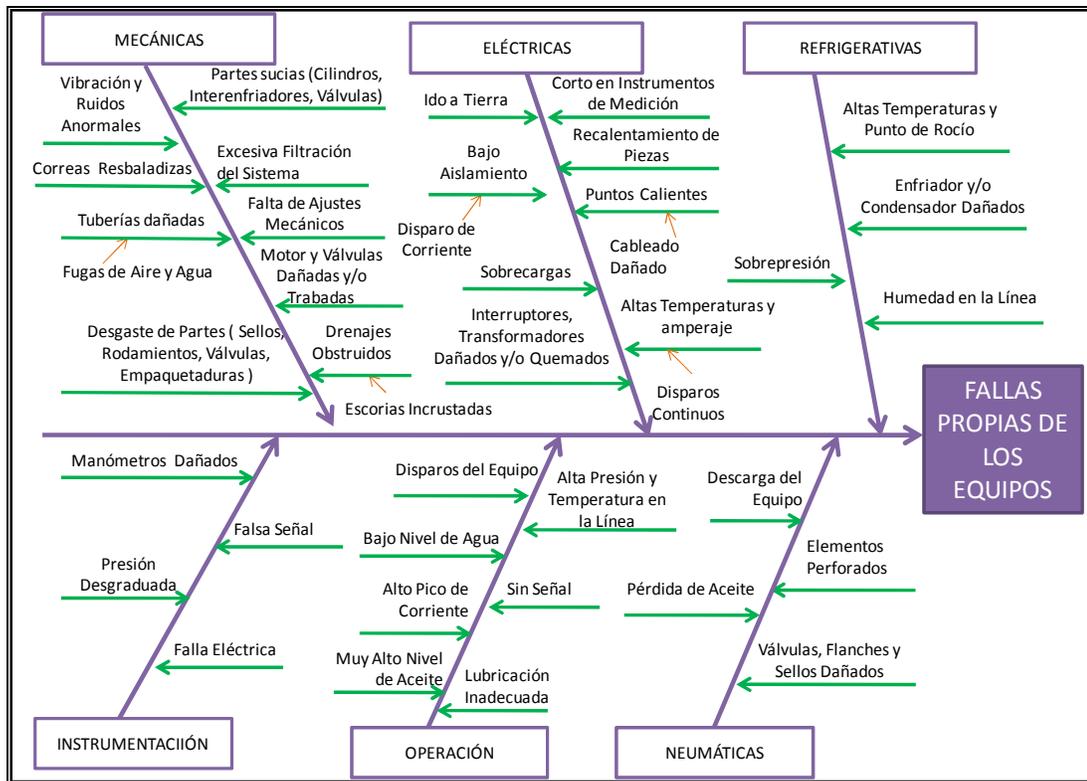


Figura 11. Diagrama Causa-Efecto de las Fallas Propias de los Equipos.

Fuente. Autora

A fin de realizar el análisis de las fallas por cada sala generadora de aire, que permita observar el comportamiento de los equipos y conocer la incidencia de cada uno de los tipos de fallas mostrados en el diagrama anterior, se tomaron 25 meses de muestra, comprendidos de Enero 2009 hasta Enero 2011.

1.1 ANÁLISIS DE LAS FALLAS DE LOS COMPRESORES UBICADOS EN FACILIDAD 18

Se presentaron 122 reportes de fallas en el lapso de tiempo mencionado, distribuidas 92 de ellas, en los 8 compresores que integran la sala y 30 asociadas a los equipos auxiliares (subsistemas), por tanto, se filtraron los datos suministrados por el SIGMA, y se procedió a su clasificación por mes, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 10. Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Sala Facilidad 18

AÑO	MES	FALLAS (COMPRESORES)	FALLAS (EQUIPOS AUXILIARES)	TOTAL DE FALLAS
2009	Enero	0	2	2
	Febrero	1	1	2
	Marzo	5	1	6
	Abril	3	1	4
	Mayo	3	1	4
	Junio	6	2	8
	Julio	3	2	5
	Agosto	1	1	2
	Septiembre	5	1	6
	Octubre	4	1	5
	Noviembre	3	1	4
	Diciembre	0	4	4
2010	Enero	3	0	3
	Febrero	2	3	5
	Marzo	3	1	4
	Abril	7	0	7
	Mayo	4	0	4
	Junio	3	0	3
	Julio	4	1	5
	Agosto	4	0	4
	Septiembre	5	2	7
	Octubre	13	2	15
	Noviembre	2	0	2
	Diciembre	6	1	7
2011	Enero	2	2	4
TOTAL		92	30	122

Fuente. Autora

Tomando como referencia estos datos, se construye un gráfico de tendencia, para ver el comportamiento mensual del conjunto de compresores instalados en Facilidad 18 y de los equipos auxiliares que afectan el sistema de generación de aire comprimido (Torre de enfriamiento, Chiller, y Sistema de Señalización).

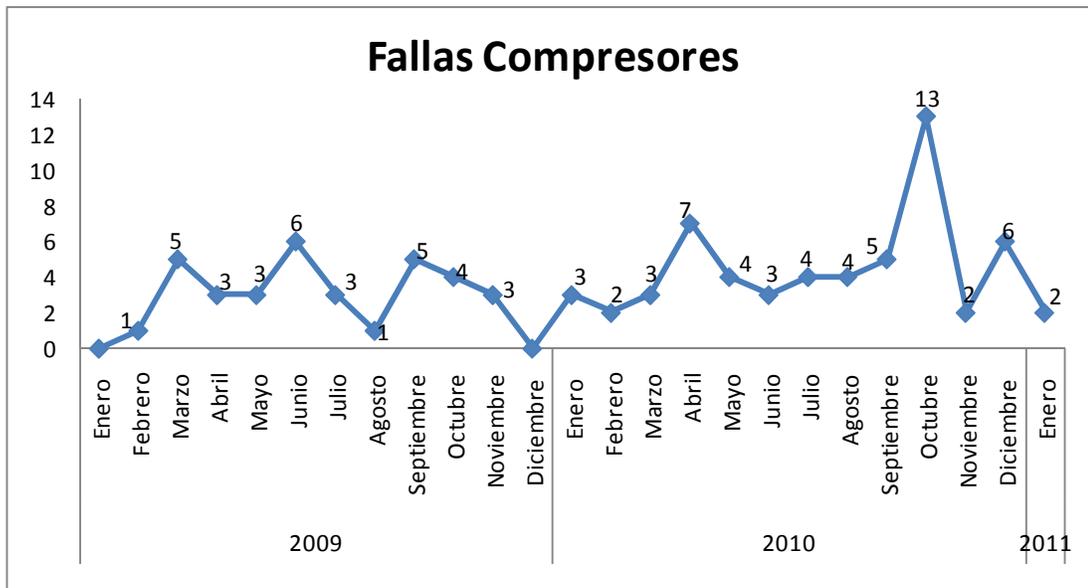


Figura 12. Comportamiento Mensual de las Fallas de Compresores de Facilidad 18

Fuente. Autora

En este se puede observar, que el comportamiento de las fallas entre un año y otro es similar, la curva presenta cierta periodicidad, donde los valores que más prevalecen corresponden a cuatro y tres fallas por mes; sin embargo, se destaca que para octubre de 2010 se presentaron 13 fallas, lo cual corresponde al valor más alto durante el período evaluado. Aunado a ello, al comparar un año con el otro, es notable que las fallas fueron incrementándose, pues para el 2009 se presentaron 34 fallas y de Enero 2010 a Enero 2011 fueron 58 fallas.

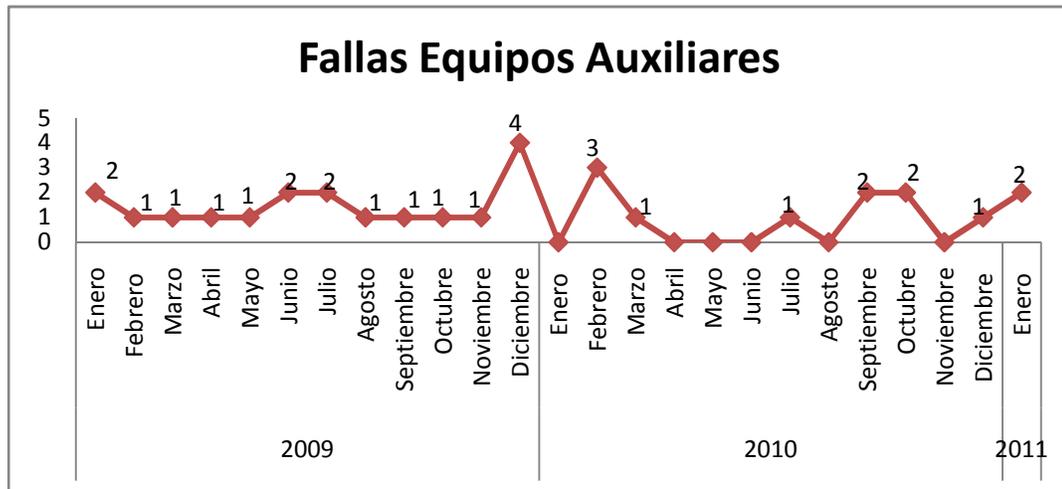


Figura 13. Comportamiento Mensual de las Fallas de Equipos Auxiliares de Facilidad

18

Fuente. Autora

Se evidencia, que los equipos auxiliares tienen un comportamiento periódico mes a mes, se presentan rachas, es decir, que concurren los puntos en el valor de una falla, al igual que para los meses de Enero, Abril, Mayo, Junio y Agosto de 2010 donde no se presentaron fallas. Por otro lado, en el mes de Diciembre de 2010 se presentó el mayor número de fallas (cuatro).

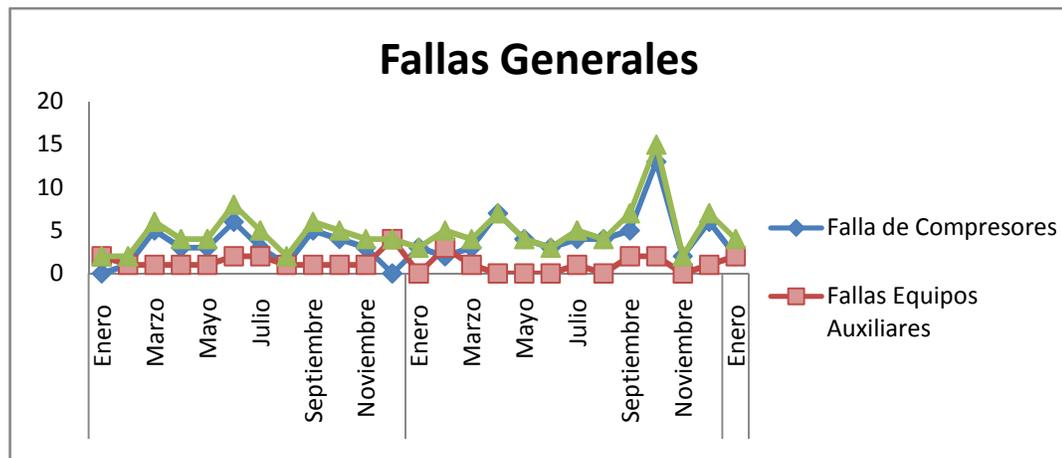


Figura 14. Comportamiento Mensual de las Fallas Generales del Sistema de Aire

Comprimido de Facilidad 18

Fuente. Autora

Del gráfico anterior, se percibe que del total de fallas, la de los compresores están por encima de las fallas de los equipos auxiliares en todos los meses, a excepción de Diciembre de 2009, lo que implica que del 100% de las fallas presentadas en el sistema, los compresores representan un 75,4 % y los equipos auxiliares un 24,6 %, por ello, los primeros requieren de mayor atención y mantenimiento, para evitar interrupciones en la generación de aire, y lograr mejorar el sistema.

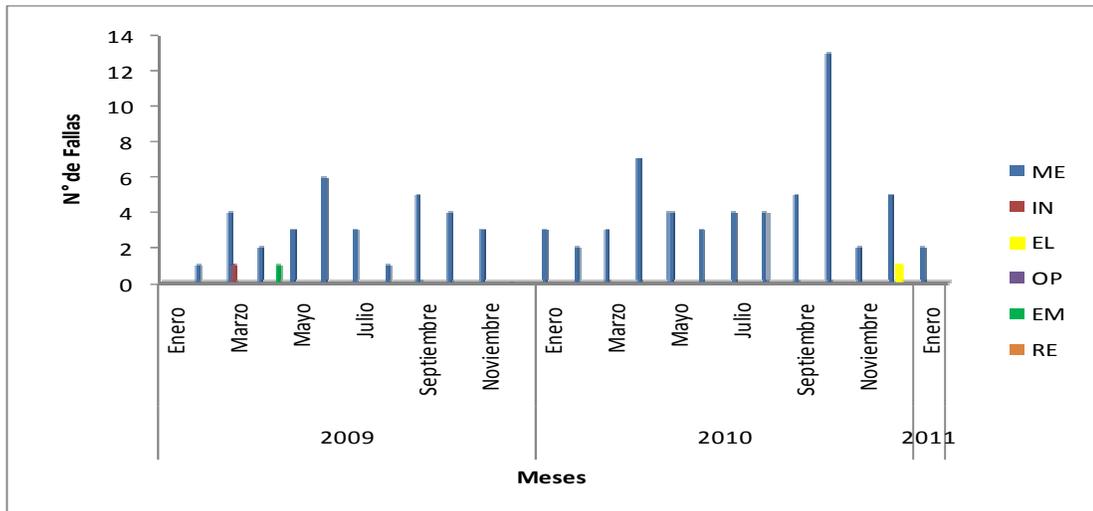
Después de presentar los gráficos de comportamiento general, se muestra la tabla resumen, donde se desglosan las cantidades de fallas mensuales de los compresores en función de su tipo, de manera que se observe la que se presenta con mayor frecuencia.

Tabla 11. Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala de Facilidad 18.
Clasificación por Tipo

FRECUENCIA MENSUAL DE FALLAS									
AÑO	MES	FALLAS GENERALES	TIPO						
			ME	IN	EL	OP	EM	RE	NE
2009	Enero	0							
	Febrero	1	1						
	Marzo	5	4	1					
	Abril	3	2				1		
	Mayo	3	3						
	Junio	6	6						
	Julio	3	3						
	Agosto	1	1						
	Septiembre	5	5						
	Octubre	4	4						
	Noviembre	3	3						
	Diciembre	0	0						
2010	Enero	3	3						
	Febrero	2	2						
	Marzo	3	3						
	Abril	7	7						
	Mayo	4	4						
	Junio	3	3						
	Julio	4	4						
	Agosto	4	4						
	Septiembre	5	5						
	Octubre	13	13						
	Noviembre	2	2						
	Diciembre	6	5			1			
2011	Enero	2	2						
TOTAL		92	89	1	1		1		

Fuente. Autora

Para una mejor visualización de los datos presentados en la tabla anterior, se muestra un histograma de frecuencia de fallas.



**Figura 15. Gráfico de Barras del Tipo de Fallas Mensuales de los compresores
Facilidad 18**

Fuente. Autora

En este se evidencia, que las fallas que se presentaron con mayor frecuencia son las mecánicas, evidentemente tienen un gran número de reportes, correspondiéndose el mayor valor para Octubre de 2010 con 14 fallas, tomando en cuanto el total de fallas mostradas en la tabla 11, las fallas mecánicas representan del total de fallas el 72,94%, mientras que las fallas de instrumentación, electromecánica y eléctricas se presentaron una sola vez (0,82%), correspondiéndose con el mes de Marzo 2009, Abril 2009 y Diciembre 2010 respectivamente, en contraste con las fallas de tipo refrigerativas, operativas y neumáticas que no se reportaron durante el tiempo de estudio.

De igual forma, para observar la presencia de estas fallas, pero en función de los equipos, se presenta la siguiente tabla donde se detallan los valores de fallas correspondientes a cada compresor:

**Tabla 12. Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Facilidad 18.
Clasificación por Equipo**

AÑO	MES	GENERAL	FRECUENCIA DE FALLAS (COMPRESORES)								
			A1	B2	C3	D4	E5	F6	G7	H8	
2009	Enero	0									
	Febrero	1						1			
	Marzo	5				1		1	1	2	
	Abril	3			1			2			
	Mayo	3			1		1	1			
	Junio	6	1			1	1	1		2	
	Julio	3			1			1	1		
	Agosto	1								1	
	Septiembre	5	1		2	1				1	
	Octubre	4		1		1				2	
	Noviembre	3					1		1	1	
	Diciembre	0									
2010	Enero	3			1					2	
	Febrero	2			2						
	Marzo	3	1	1			1				
	Abril	7	2		1	1	1	1	1		
	Mayo	4	1	1			1	1			
	Junio	3	1				1	1			
	Julio	4	1		2			1			
	Agosto	4			2		2				
	Septiembre	5	2		1		1	1			
	Octubre	13	3	4	2	1	1	1	1		
	Noviembre	2						2			
	Diciembre	6		1	2		3				
2011	Enero	2		1	1						
	total	92	13	9	19	6	14	15	5	11	

Fuente. Autora

Se resalta, de manera general, que todos los equipos tienen comportamiento similar mes a mes, en el cual la tendencia es a presentar una falla mensual, y a la vez, no superan las 4 fallas mensuales, pues ese es el valor más alto por mes, el cual lo presentó el compresor (B2) para Octubre de 2010. Aunado a ello, se detalla, que los compresores C3, F6, E5, A1, B2, presentan la tendencia de incrementar su número de fallas un año a otro, es decir, que para estos el número de fallas del 2009 es menor a las presentadas de Enero 2010 a Enero 2011, mientras que los compresores D4 y G5 presentaron menos fallas en 2009 que en 2010, sin embargo, evaluando la frecuencia con la que se dan las fallas, son los compresores

C3, F6 y E5 los que fallaron en mas meses del periodo evaluado, pero con una o dos fallas por mes; mientras que los compresores A1, B2, D4, G7, H8, fallaron menos meses pero con un número de ocurrencia entre tres y dos fallas. Finalmente, tomando en cuenta, el número de fallas totales para el periodo evaluado, se obtiene que el rango de fallas de cada equipo está entre 19 y 5, donde el mayor valor es para el compresor C3 y el menor para el G7. Para tener una mayor visualización de lo descrito anteriormente, y observar el comportamiento individual de cada equipo (ver Apéndice A).

Por otro parte, para conocer a detalle el comportamiento mensual de las fallas por cada equipo auxiliar, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 13. Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Auxiliares Sala Facilidad 18. Clasificación por Tipo

FRECUENCIA MENSUAL DE FALLAS								
AÑO	MES	FALLAS GENERALES	TIPO					
			Torre		Chiller		Sistema de señalización	
			ME	EL	ME	EL	RE	EL
2009	Enero	2	1				1	
	Febrero	1					1	
	Marzo	1	1					
	Abril	1			1			
	Mayo	1			1			
	Junio	2		2				
	Julio	2	1			1		
	Agosto	1					1	
	Septiembre	1		1				
	Octubre	1				1		
	Noviembre	1	1					
	Diciembre	4	1	2				1
2010	Enero	0						
	Febrero	3			1		1	1
	Marzo	1				1		
	Abril	0						
	Mayo	0						
	Junio	0						
	Julio	1	1					
	Agosto	0						
	Septiembre	2	1		1			
	Octubre	2				1	1	
	Noviembre	0						
	Diciembre	1	1					
2011	Enero	2			2			
TOTAL		30	8	5	6	4	5	2

Fuente. Autora

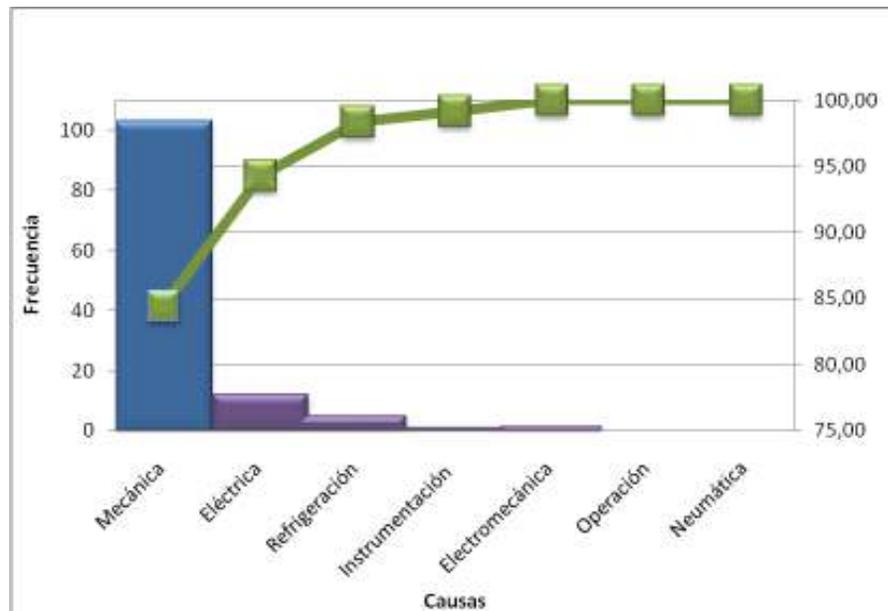
En esta, se visualiza, que los equipos auxiliares fallan poco, y el equipo que mas fallas presentó durante el tiempo evaluado fue el Chiller (15 fallas), la torres de enfriamiento (13 fallas) y el sistema de señalización solo dos fallas. Por su parte, tanto para las torres como para el Chiller las fallas que tienen mayor incidencia son las de tipo mecánicas, seguidas de las eléctricas para la torre y las refrigerativas para el Chiller; además que para todos los equipos el número de fallas por mes oscila entre uno y dos, para una visualización del comportamiento mensual de cada uno de estos equipos ver Apéndice B.

Finalmente, considerando los tipos de fallas mostrados para los compresores en la tabla 11 y para los equipos auxiliares en la tabla 14, se presenta la tabla resumen con el total de fallas por tipo y el diagrama de Pareto.

Tabla 14. Distribución de Frecuencia de Fallas Generales Equipos de Facilidad 18

Tipo de falla	Frecuencia	Frec. Acum	Acum.%
Mecánica	103	103	84,43
Eléctrica	12	115	94,26
Refrigeración	5	120	98,36
Instrumentación	1	121	99,18
Electromecánica	1	122	100,00
Operación	0	122	100,00
Neumática	0	122	100%
Total	122		

Fuente. Autora



**Figura 16. Diagrama de Pareto del Tipo de Fallas de Equipos
Sala de Facilidad 18
Fuente. Autora**

El gráfico de Pareto mostrado anteriormente, en oportunidad de su sugerencia de pocos vitales y muchos triviales, mejor conocida como el 80-20, indica que se debe centrar la atención en uno de los siete tipos de fallas, es decir, en las fallas mecánicas ya que son en las fallas mecánicas donde se centra el 84,43% de los problemas, seguidas de las eléctricas con 9,03%, refrigerativas con 4,09 %, y finalmente las de instrumentación y electromecánicas con 0,82% cada una. Resaltando, además que los colores azul y morado, en el gráfico de Pareto indican a los pocos vitales y muchos triviales, respectivamente, en correspondencia a la intersección de la poligonal abierta con una perpendicular al 80%.

1.2 ANÁLISIS DE LAS FALLAS DE LOS COMPRESORES UBICADOS EN COMPLEJO I

Se presentaron 240 reportes de fallas en el lapso de tiempo mencionado, distribuidas 175 de ellas, en los compresores ZR-450, ZR-5A Y ZA que

integran la sala y 65 asociadas a los equipos auxiliares (Subsistemas), por tanto, se filtraron los datos suministrados por el SIGMA, y se procedió a su clasificación por mes, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 15. Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Sala Complejo I

AÑO	MES	FALLAS (COMPRESORES)	FALLAS (EQUIPOS AUXILIARES)	TOTAL DE FALLAS
2009	Enero	8	7	15
	Febrero	5	5	10
	Marzo	2	2	4
	Abril	7	2	9
	Mayo	7	2	9
	Junio	10	3	13
	Julio	7	4	11
	Agosto	9	0	9
	Septiembre	6	3	9
	Octubre	6	0	6
	Noviembre	2	5	7
	Diciembre	6	4	10
2010	Enero	7	2	9
	Febrero	1	3	4
	Marzo	8	3	11
	Abril	7	2	9
	Mayo	12	1	13
	Junio	10	3	13
	Julio	5	1	6
	Agosto	2	2	4
	Septiembre	8	1	9
	Octubre	10	3	13
	Noviembre	14	1	15
	Diciembre	8	4	12
2011	Enero	8	2	10
TOTAL		175	65	240

Fuente. Autora

Seguidamente, en función de los datos presentados en la tabla anterior, se muestran los gráficos de tendencia, a fin de conocer el comportamiento mes a mes de los compresores y equipos auxiliares (Torres de Enfriamiento, Pulmones de Aire, Panel de Control y Secadoras) que integran el sistema de aire.

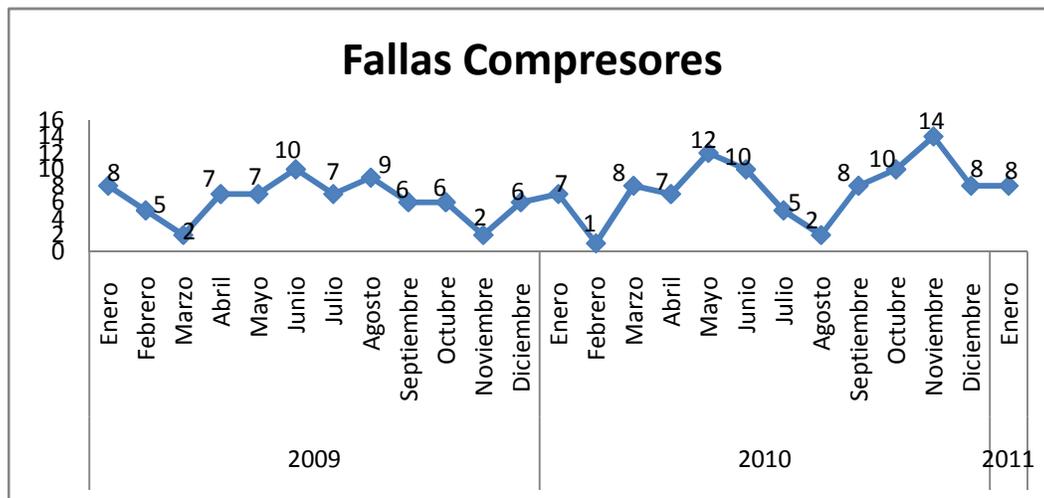


Figura 17. Comportamiento Mensual de las Fallas de Compresores de Complejo I

Fuente. Autora

En este se percibe, que el comportamiento de las fallas mes a mes es periódico, donde prevalece el número de fallas mensuales en el rango de 6 a 8, resaltando los meses de Mayo y Noviembre 2009, donde los equipos fallaron 12 y 14 veces respectivamente, además considerando, el total de fallas por año, se obtiene para el 2009 la presencia de 75 fallas (31,25%) y 100 fallas para el 2010 (41,66%), por tanto, ascendieron en 25 fallas un año a otro, es decir, un 10,41%.

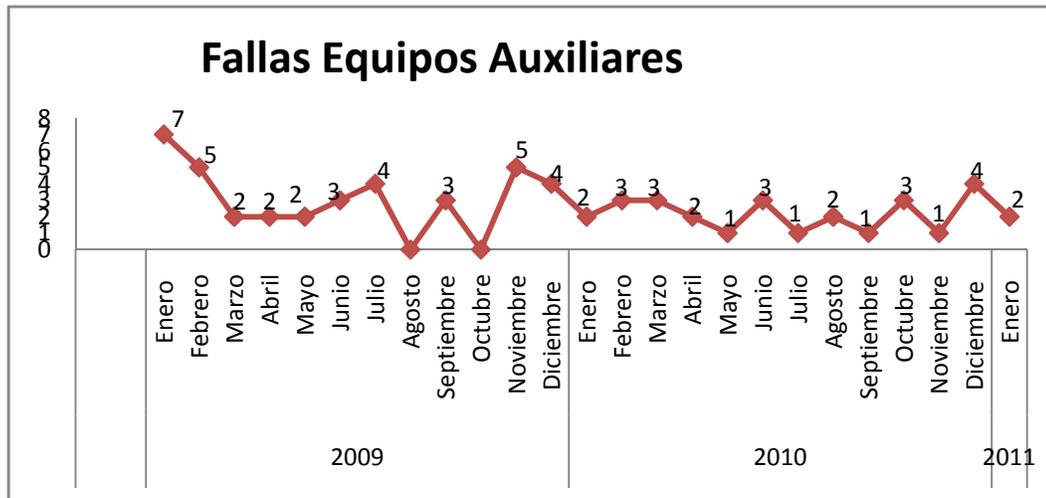


Figura 18. Comportamiento Mensual de las Fallas de Equipos Auxiliares de Complejo I
Fuente. Autora

Se evidencia, que los equipos auxiliares siguen una tendencia constante de fallas, sobre todo para el año 2010 presentando una o tres fallas por mes. Además si se toma el acumulado de cada año, se tiene que para el 2009 fue mayor el número de fallas (37) con respecto al 2010 (28), evidenciado porque en Enero y Febrero del 2009 se dieron los reportes más altos de fallas, 7 y 5 respectivamente.

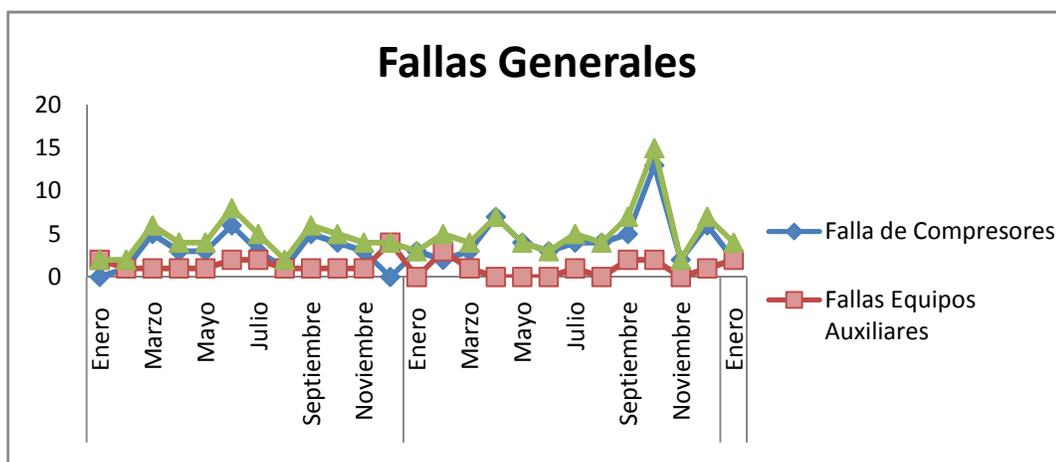


Figura 19. Comportamiento Mensual de las Fallas Generales del Sistema de Aire Comprimido de Complejo I
Fuente. Autora

En este grafico, se evidencia el comportamiento de los equipos auxiliares y compresores, en función del total de fallas, destacando que del sistema de generación de aire en esta sala, son los compresores los que fallan mayor número de veces, representando un 72,91%, por ello, la curva de los compresores a lo largo del tiempo se impone por encima de la de los equipos auxiliares.

Ahora bien, para ahondar en las fallas de los compresores, se muestra la tabla resumen, especificando las cantidades de fallas mensuales según su tipo, a fin de conocer la que tiene mayor relevancia.

**Tabla 16. Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala de Complejo I.
Clasificación por Tipo**

FRECUENCIA MENSUAL DE FALLAS									
AÑO	MES	FALLAS GENERALES	TIPO						
			ME	IN	EL	OP	EM	RE	NE
2009	Enero	8	7		1				
	Febrero	5	5						
	Marzo	2	2						
	Abril	7	6		1				
	Mayo	7	7						
	Junio	10	10						
	Julio	7	7						
	Agosto	9	9						
	Septiembre	6	5			1			
	Octubre	6	6						
	Noviembre	2	1			1			
	Diciembre	6	5					1	
2010	Enero	7	3		2		2		
	Febrero	1	1						
	Marzo	8	6		2				
	Abril	7	7						
	Mayo	12	11		1				
	Junio	10	8		2				
	Julio	5	4		1				
	Agosto	2	2						
	Septiembre	8	6		2				
	Octubre	10	10						
	Noviembre	14	12		1		1		
	Diciembre	8	8						
2011	Enero	8	6		2				
TOTAL		175	154		17		4		

Fuente. Autora

Por consiguiente, para una mejor visualización de los datos presentados en la tabla anterior, se muestra el siguiente gráfico de barras

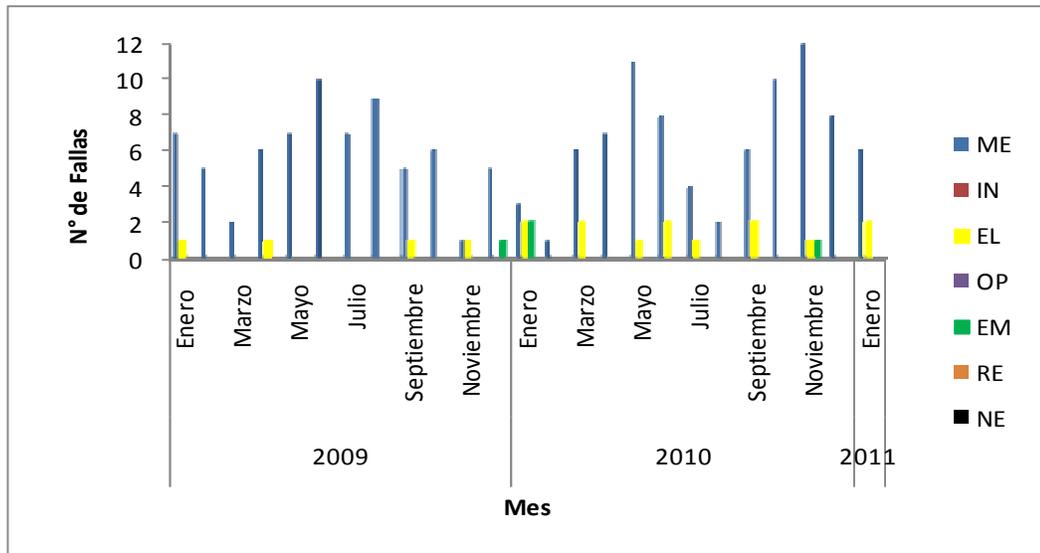


Figura 20. Gráfico de Barras del Tipo de Fallas Mensuales de los compresores

Complejo I

Fuente. Autora

Las fallas que se presentaron con mayor frecuencia son las mecánicas, ya que son las que persisten mes a mes, oscilando su frecuencia mensual entre cinco y diez fallas, representando del total de fallas señalado en la tabla 16 el 64,16%, seguidamente las fallas eléctricas con una frecuencia de ocurrencia de dos fallas al mes, representando el 7,08%, y finalmente las electromecánicas que se reportaron tres veces de los veinticinco meses de estudio, lo que significa un 1,67%, mientras que las fallas operativas, refrigerativas, de operación e instrumentación no tuvieron ningún reporte.

De forma análoga, para observar el comportamiento de cada compresor, se presenta la tabla donde se detallan los valores de fallas correspondientes a cada uno de ellos.

Tabla 17. Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Complejo I
Clasificación por Equipo

AÑO	MES	GENERAL	FRECUENCIA DE FALLAS (COMPRESORES)					
			ZR-5A(1)	ZR-5A(2)	ZR-450(3)	ZR-5A (4)	ZR-450 (5)	ZA (6)
2009	Enero	8	4	2		1		1
	Febrero	5	2	1		2		
	Marzo	2		1	1			
	Abril	7	1	2	2	1		1
	Mayo	7		1	2	3		1
	Junio	10		3		5		2
	Julio	7		3	1	2	1	
	Agosto	9		2	2	2	3	
	Septiembre	6			2	1		3
	Octubre	6		2	2	1	1	
	Noviembre	2			1			1
	Diciembre	6		1	1	2	1	1
2010	Enero	7	3	1	2	1		
	Febrero	1	1					
	Marzo	8	2	1	1			4
	Abril	7		1	1	3	1	1
	Mayo	12		1	3	4	3	1
	Junio	10		2	2	4	1	1
	Julio	5			2	2		1
	Agosto	2		1	1			
	Septiembre	8			3	2	2	1
	Octubre	10		2	3	4	1	
	Noviembre	14		2	3	1		7
	Diciembre	8		1	3	1	1	2
2011	Enero	8	2		1		4	1
	total	175	32	42	36	30	19	16

Fuente. Autora

Se precisa que todos los equipos presentan un comportamiento constante, oscilando el numero de fallas mensuales en dos y tres por equipo; a pesar de que se presenta valores de 4 y 5 fallas en algunos meses, y el valor más alto por mes corresponde a 7 fallas para el compresor ZR-450 N° 5, presentada en Noviembre de 2010, a su vez, se resalta que en los compresores ZR-5A (N°2, 1 y 4) y en el ZR-450 N°3 se encuentran el mayor número de fallas presentadas en las salas, estos representan en conjunto una incidencia del 58,33%, reflejado en un rango de 42 a 30 fallas en el periodo total de

estudio, y en los compresores ZR 450 N° 5 y ZA N° 6 , se encuentra el 14,58%, distribuido en 19 y 16 fallas, respectivamente. Por tanto, los compresores que requieren mayor atención son los que tienen el mayor porcentaje de incidencia, además de que su comportamiento de un año a otro fue creciente en el número de fallas. Para tener, un mayor visualización del comportamiento de cada uno de estos equipos mes a mes, (ver Apéndice A), donde se muestran los gráficos de tendencia de cada uno.

Por otro lado, para conocer a detalle el comportamiento mensual de las fallas por cada equipo auxiliar, se presenta la siguiente tabla:

**Tabla 18. Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Auxiliares Sala Complejo I
Clasificación por Tipo**

FRECUENCIA MENSUAL DE FALLAS									
AÑO	MES	FALLAS GENERALES	TIPO						
			Torre		Pulmones de Aire	Panel de Control	secadoras		
			ME	EL	ME	EL	ME	RE	
2009	Enero	7	1	2		2		1	1
	Febrero	5			1	1			3
	Marzo	2	1		1				
	Abril	2	1					1	
	Mayo	2		1	1				
	Junio	3	2						1
	Julio	4		1	3				
	Agosto	0							
	Septiembre	3	3						
	Octubre	0							
	Noviembre	5	2	1	1			1	
	Diciembre	4		1		1		1	2
2010	Enero	2				1		1	
	Febrero	3	2						1
	Marzo	3	3						
	Abril	2	1			1			
	Mayo	1				1			
	Junio	3	1	1				1	
	Julio	1			1				
	Agosto	2		2					
	Septiembre	1	1						
	Octubre	3			1	2			
	Noviembre	1			1				
	Diciembre	4	4						
2011	Enero	2	2						
TOTAL		65	24	9	10	9	5	8	

Fuente. Autora

De lo anterior, se resalta que los equipos auxiliares representan el 27,08% de las fallas del sistema de aire, y de estos los de mayor incidencia de fallas son las torres con un total de 33 fallas, lo que representa el 13,74%, seguidas de las secadoras con un 5,41%, distribuido en 13 fallas, y finalmente los pulmones de aire y panel de control, con 10 y 9 fallas respectivamente. Resaltando, que en las torres prevalece el tipo de falla mecánica y en las secadoras son las eléctricas; además que el comportamiento general de estos equipos es de fallar periódicamente a razón de una o dos fallas mensuales, y un año al otro el número total de fallas es constante, a excepción de las secadoras que presentaron 10 fallas para 2009 y solo 3 para el 2010. Para una visión más amplia del comportamiento de las fallas de estos equipos, en función de los meses y tipos de fallas se presentan histogramas de frecuencia en el Apéndice B.

Por otro lado, considerando los tipos de fallas para los compresores y equipos auxiliares mostrados en la tabla 16 y 19, respectivamente, se presenta a continuación un diagrama de Pareto:

Tabla 19. Distribución de Frecuencia Fallas Generales Equipos de Complejo I

Tipo de falla	Frecuencia	Frec. Acum	Acum.%
Mecánica	193	193	80,42
Eléctrica	35	228	95,00
Refrigeración	8	236	98,33
Electromecánica	4	240	100,00
Instrumentación	0	240	100,00
Operación	0	240	100,00
Neumática	0	240	100,00
Total	240		

Fuente. Autora

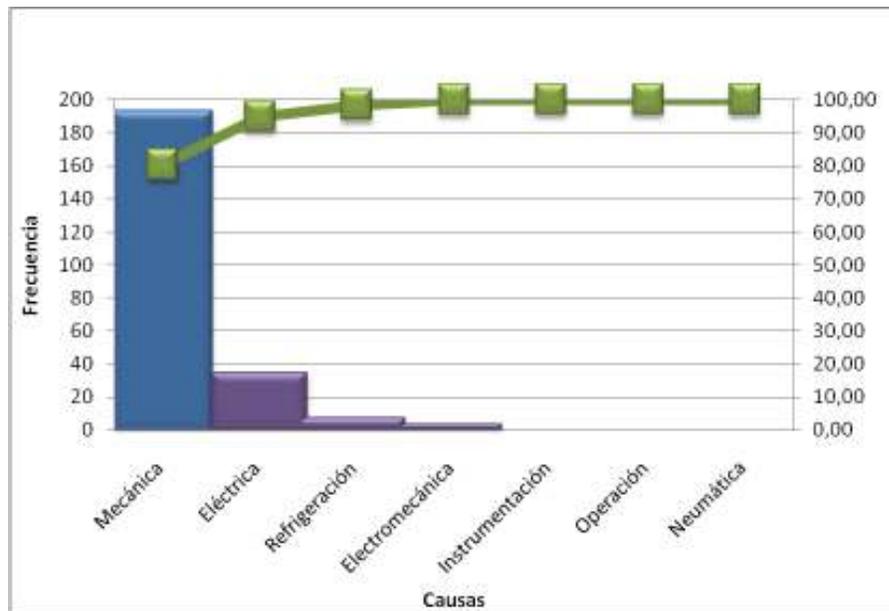


Figura 21. Diagrama de Pareto del Tipo de Fallas de Equipos Sala de Complejo I

Fuente. Autora

El gráfico de Pareto, nos muestra que son las fallas mecánicas las que se deben atender con urgencia, ya que ellas son las que generan el 80% de los problemas, por tanto son estas las pocas vitales (color azul), mientras que los muchos triviales lo representa el color morado, es decir las fallas eléctricas (14,58%), refrigeración (3,33%) y electromecánicas (1,67%), las cuales tienen poca relevancia.

1.3 ANÁLISIS DE LAS FALLAS DE LOS COMPRESORES UBICADOS EN COMPLEJO II

Se presentaron 325 reportes de fallas en el lapso de tiempo seleccionado, distribuidas 234 de ellas, en los compresores ZR-5A Y ZA que integran la sala y 91 asociadas a los equipos auxiliares (Subsistemas), por tanto, se filtraron los datos suministrados por el SIGMA, y se procedió a su clasificación por mes, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 20. Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Sala Complejo II

AÑO	MES	FALLAS (COMPRESORES)	FALLAS (EQUIPOS AUXILIARES)	TOTAL DE FALLAS
2009	Enero	10	1	11
	Febrero	9	3	12
	Marzo	8	2	10
	Abril	10	7	17
	Mayo	9	5	14
	Junio	9	6	15
	Julio	8	4	12
	Agosto	12	2	14
	Septiembre	13	3	16
	Octubre	5	4	9
	Noviembre	11	0	11
	Diciembre	7	6	13
2010	Enero	6	5	11
	Febrero	4	3	7
	Marzo	7	10	17
	Abril	3	0	3
	Mayo	12	5	17
	Junio	21	1	22
	Julio	10	6	16
	Agosto	4	3	7
	Septiembre	9	4	13
	Octubre	16	3	19
	Noviembre	8	2	10
	Diciembre	6	5	11
2011	Enero	17	1	18
TOTAL		234	91	325

Fuente. Autora

Para analizar los datos presentados anteriormente, se muestran los gráficos de tendencia, que permiten conocer el comportamiento mensual de cada equipo que compone el sistema de aire de la sala en estudio.

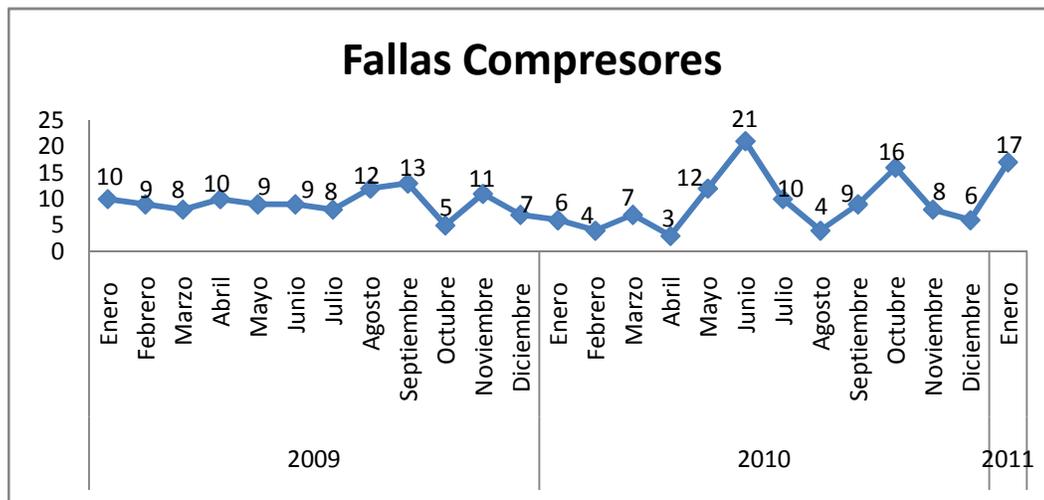


Figura 22. Comportamiento Mensual de las Fallas de Compresores de Complejo II
Fuente. Autora

Se nota, que el comportamiento de las fallas de los compresores en esta sala sigue una progresión ascendente, no se evidencian rachas ni estacionalidad, destacando que para Junio de 2010 se reportó el valor más alto correspondiente a 21 fallas; además considerando el acumulado de fallas por año, se tiene que para 2009 se presentaron 111 fallas (34,15%), y de Enero 2010 hasta Enero 2011, 123 fallas (37,84%), lo que significa que hubo un incremento del 3,69%.

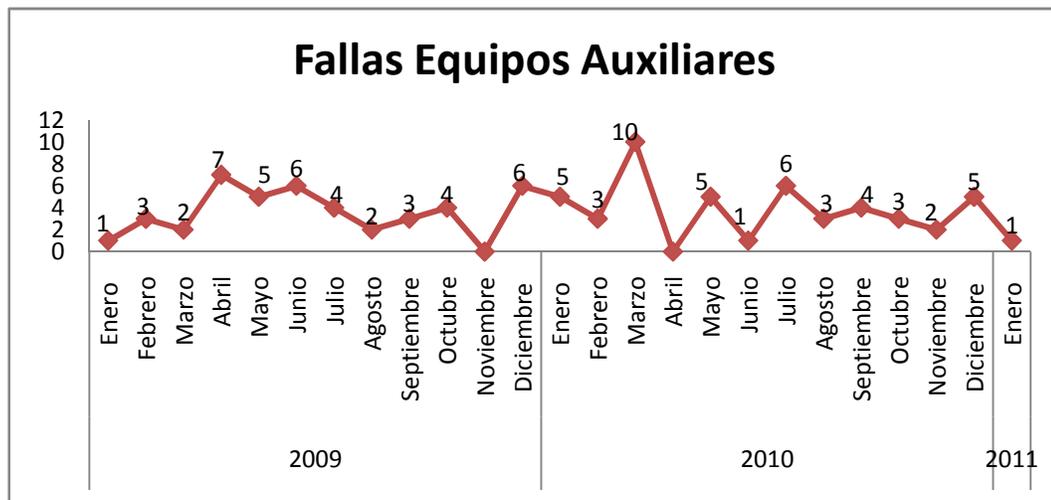


Figura 23. Comportamiento Mensual de las Fallas de Equipos Auxiliares de Complejo

II

Fuente. Autora

Se observa que los equipos auxiliares presentan un comportamiento irregular, sin caer en estacionalidad, pero prevaleciendo en promedio las cuatro fallas mensuales, destacando que el mayor valor correspondiente a diez fallas fueron registradas para Marzo de 2010.

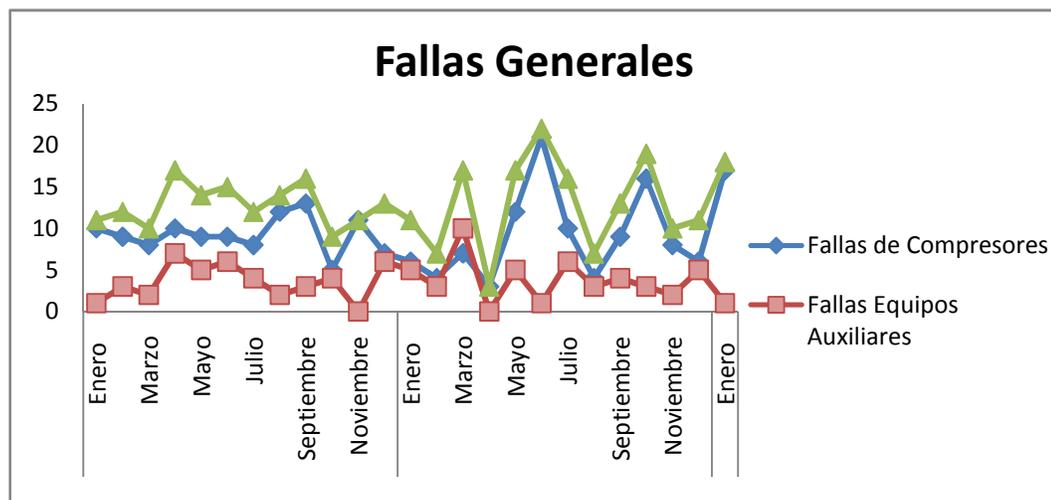


Figura 24. Comportamiento Mensual de las Fallas Generales del Sistema de Aire Comprimido de Complejo II

Fuente. Autora

Del gráfico anterior, se compara el comportamiento de las fallas de los compresores con respecto a los equipos auxiliares, y se evidencia cuales repercuten mas sobre el total de fallas, notándose que para el período de Enero de 2009 a Febrero de 2010, estuvieron cercanas las fallas en ambos equipos, ya que las curva están próximas, incluso para los meses de Diciembre 2009, Enero y Febrero 2010 se corresponden con el mismo valor, sin embargo, a partir de Mayo 2010 hasta el final de los meses de estudio, aumentaron las fallas de los compresores, mientras que los equipos auxiliares se mantuvieron, es por ello que los compresores tienen el 72 % de fallas totales y los equipos auxiliares el 28%.

Luego de mostrar las fallas generales, se presenta una tabla resumen, en la cual se especifica las cantidades de fallas mensuales de los compresores según el tipo, a fin de conocer la que tiene mayor relevancia.

**Tabla 21. Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Complejo II
Clasificación por Tipo**

FRECUENCIA MENSUAL DE FALLAS									
AÑO	MES	FALLAS GENERALES	TIPO						
			ME	IN	EL	OP	EM	RE	NE
2009	Enero	10	10						
	Febrero	9	8		1				
	Marzo	8	8						
	Abril	10	10						
	Mayo	9	8	1					
	Junio	9	9						
	Julio	8	6			1			1
	Agosto	12	11			1			
	Septiembre	13	13						
	Octubre	5	4						1
	Noviembre	11	10						1
	Diciembre	7	4						1
2010	Enero	6	3			1			2
	Febrero	4	3			1			
	Marzo	7	6						1
	Abril	3	2			1			
	Mayo	12	9			3			
	Junio	21	12	3	5	1			
	Julio	10	6	2	2				
	Agosto	4	3		1				
	Septiembre	9	7			1			1
	Octubre	16	10			6			
	Noviembre	8	6	1	1				
	Diciembre	6	5		1				
2011	Enero	17	2	3	7	5			
TOTAL		234	175	10	33	6		6	4

Fuente. Autora

Para, una mejor visualización de los datos presentados en la tabla anterior, y así observar el comportamiento mes a mes de los tipos de fallas del compresor, se muestra el siguiente Gráfico de Barras.

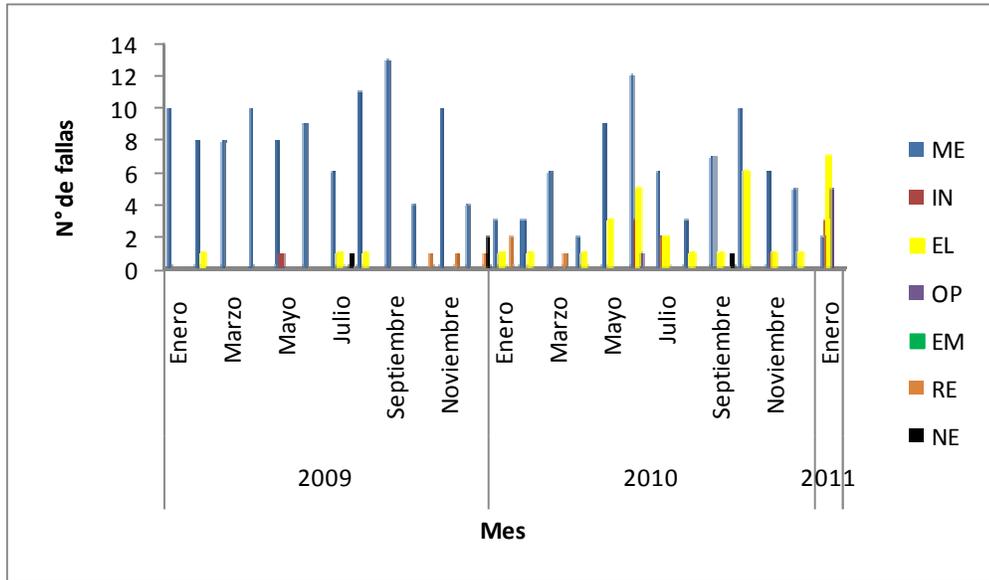


Figura 25. Gráfico de Barras del Tipo de Fallas Mensuales de los compresores Complejo II
Fuente. Autora

Se evidencia, que las fallas que se presentaron con mayor frecuencia son las mecánicas, oscilando su frecuencia mensual entre ocho y diez fallas, siendo notoria su imposición con respecto a las otras fallas, ya que fueron registradas considerando la tabla 21, 175 fallas de este tipo, lo que representa el 53,84%, seguida de las eléctricas con 33 fallas (10,15%), las de instrumentación con apenas 10 fallas (3,08%), y en menor proporción las refrigerativas y operación con 6 fallas para cada una (1,84%), y finalmente las neumáticas con 4 fallas (1,23%).

Sucesivamente, para observar el número de fallas para cada compresor, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 22. Frecuencia Mensual de Fallas Compresores Sala Complejo II
Clasificación por Equipo

			FRECUENCIA DE FALLAS (COMPRESORES)					
AÑO	MES	GENERAL	ZR-5A(1)	ZR-5A(2)	ZR-5A (3)	ZR-5A (4)	ZA(5)	ZA (6)
2009	Enero	10	5	4	1			F u e r a d e S e r v i c i o
	Febrero	9	2	2	4	1		
	Marzo	8	1	2		3	2	
	Abril	10	2		5	1	2	
	Mayo	9	3	3	1	2		
	Junio	9	1	3	3	2		
	Julio	8	2		5	1		
	Agosto	12	3	3	2	2	2	
	Septiembre	13	4	3	1	2	3	
	Octubre	5	3		1	1		
	Noviembre	11	1	3	2	3	2	
	Diciembre	7	1	1	2	2	1	
2010	Enero	6	1	2	1	1	1	F u e r a d e S e r v i c i o
	Febrero	4	1			2	1	
	Marzo	7	2	2	1	2		
	Abril	3	2	1				
	Mayo	12	4	1	3	4		
	Junio	21	4		8	9		
	Julio	10		2	5	2	1	
	Agosto	4	1	2	1			
	Septiembre	9	2	2	4	1		
	Octubre	16	6		4	4	2	
	Noviembre	8	2	2	2	2		
	Diciembre	6	3	2	1			
2011	Enero	17	9	3	1	4		F u e r a d e S e r v i c i o
	total	234	65	43	58	51	17	

Fuente. Autora

Se detalla que los equipos tienen un comportamiento similar, donde en promedio las fallas mensuales oscilan entre dos y cuatro, agrupando los compresores ZR-5A N° 1, 3 y 4 teniendo la misma tendencia de incrementar el número de fallas un año a otro, mientras que los compresores ZR-5A N°2 y ZA N°5, presentaron tendencia a disminuir el total de fallas un año a otro, además cabe señalar que los compresores ZR-5A N°1 y N°4, presentaron el valor más alto correspondiente a 9 fallas, para el Enero de 2010 y Junio de 2010 respectivamente. Aunado a ello, se precisa que las fallas de estos compresores fueron 65 para el compresor ZR-5A N°1, 58 para el compresor ZR-5A N°3, 51 en el compresor ZR-5A N°4 y 43 fallas del compresor ZR-5A

Nº2, los cuales representan el 66,76% de las fallas , y el compresor que se encuentra en mejor estado, por presentar menos fallas es el ZA N° 5 con solo 17 fallas (5,23%). Para observar el comportamiento de estos compresores mes a mes (ver Apéndice A).

Finalmente, para conocer a detalle el comportamiento mensual de las fallas por cada equipo auxiliar, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 23. Frecuencia Mensual de Fallas Equipos Auxiliares Sala Complejo II
Clasificación por Tipo

FRECUENCIA MENSUAL DE FALLAS									
AÑO	MES	FALLAS GENERALES	TIPO						
			Torre		Pulmones de Aire	Panel de Control	secadoras		
			ME	EL	ME	EL	ME	RE	
2009	Enero	1						1	
	Febrero	3						2	1
	Marzo	2	1		1				
	Abril	7	3	2		2			
	Mayo	5	2					2	1
	Junio	6			1	2		1	2
	Julio	4						3	1
	Agosto	2			2				
	Septiembre	3	1			1		1	
	Octubre	4	2						2
	Noviembre	0							
	Diciembre	6			4			2	
2010	Enero	5			1	2		1	1
	Febrero	3	2	1					
	Marzo	10	2		2	1		3	2
	Abril	0							
	Mayo	5	1		1				3
	Junio	1	1						
	Julio	6	2	1		3			
	Agosto	3			1			2	
	Septiembre	4		1	3				
	Octubre	3				1		1	1
	Noviembre	2		2					
	Diciembre	5	1		1	1		2	
2011	Enero	1				1			
TOTAL		91	18	7	17	14		21	14

Fuente. Autora

De lo anterior, se resalta que de las 91 fallas presentadas en los equipos auxiliares, representadas por un 28%, los equipos de mayor incidencia de fallas son las secadoras con 35 fallas para el periodo evaluado, evidenciado en un 10,76%, las torres tienen el 7,69% distribuido en las 25 fallas, los pulmones de aire y panel de control, presentan 17 y 14 fallas,

respectivamente, además, se resalta que de esas fallas, prevalecen las mecánicas sobre las eléctricas, y el rango de incidencia de las mismas por mes se encuentra entre una y tres, aumentando la presencia de las mismas para el año 2010. Para evidenciar, el comportamiento específico de cada equipo por tipo de fallas, visualizar Apéndice B.

Finalmente, considerando los tipos de fallas para los compresores y equipos auxiliares mostrados en la tabla 22 y 24, respectivamente, se presenta a continuación un diagrama de Pareto:

Tabla 24. Distribución de Frecuencia de Fallas Generales Equipos de Complejo II

Tipo de falla	Frecuencia	Frec. Acum	Acum.%
Mecánica	231	231	71,08
Eléctrica	54	285	87,69
Refrigeración	20	305	93,85
Instrumentación	10	315	96,92
Operación	6	321	98,77
Neumática	4	325	100,00
Electromecánica	0	325	100,00
Total	325		

Fuente. Autora

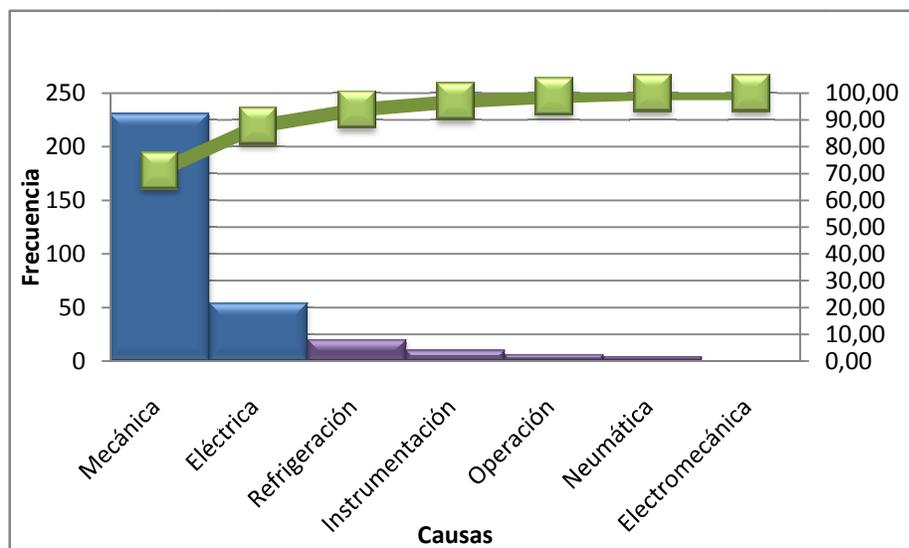


Figura 26. Diagrama de Pareto del Tipo de Fallas de Equipos de Complejo II

Fuente. Autora

El gráfico de Pareto, nos muestra que en los dos primeros subsistemas se sectoriza el 87, 29% de fallas, lo que implica que son las fallas mecánicas y eléctricas las que deben atenderse con urgencia, pues allí se ven reflejados los pocos vitales que generan la mayor cantidad de problemas, mientras que en las fallas de refrigeración, instrumentación, operación, neumáticas y electromecánicas, representadas por el color morado, son los muchos triviales, que no afectan de manera significativa a los equipos.

2. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MANTENIMIENTO DE LOS COMPRESORES UBICADOS EN LAS SALAS DE ESTUDIO

Para detallar el comportamiento de los compresores que integran cada una de las salas de estudio, se considera necesario el cálculo de los parámetros de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad), por lo que se utilizó el software Rel-mant Versión 2001, el cual permite hacer un modelaje de tales parámetros, en función de los datos cronológicos sobre tiempos operativos y fuera de servicio presentados por cada compresor, durante el periodo seleccionado de veinticinco meses, comprendidos desde 01/01/2009 hasta el 31/01/2011.

El paquete computacional Rel-mant versión 2001 trabaja con la prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra, donde se considera un procedimiento de “bondad de ajuste”; es decir, permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos y una distribución teórica específica. Su objetivo es señalar si los datos provienen de una población que tiene la distribución teórica especificada.

Por consiguiente, los análisis estadísticos que se presentan a continuación, obtenidos con la ayuda del Software Rel-mant versión 2001, recomiendan la distribución que mejor se ajusta a los datos, a fin de cerciorar que el conjunto

de datos suministrados (TFS y TO), se ajusten al comportamiento de distribuciones estadísticas como: Gamma, Exponencial, Lognormal o Weibull, las cuales son las disponibles por la aplicación, es por ello, que la distribución cuyo porcentaje de rechazo sea la menor será utilizada para la representación del comportamiento de la confiabilidad y mantenibilidad en función del tiempo.

2.1 CONFIABILIDAD

Para el cálculo de la confiabilidad de cada uno de los compresores que integran las salas, son necesarios los tiempos de operación (TO) de los mismos, los cuales fueron calculados, en función de los datos de ODT correctivas suministrados por el SIGMA. En el Apéndice C, se evidencian las tablas con estos tiempos para cada equipo.

Cabe destacar, que el período a utilizar para el cálculo de la confiabilidad es de 720 horas (equivalente a un mes), 168 horas (equivalente a una semana) y el Tiempo promedio Operativo arrojado por el programa, de esta manera se muestran las tablas con los valores correspondientes de confiabilidad para cada equipo por sala de estudio.

2.1.1 Confiabilidad de los Compresores que integran la Sala de Facilidad 18

Tabla 25. Confiabilidad de los Compresores Sala Facilidad 18

EQUIPO	CONFIABILIDAD				Distribución					
	%	%	TPO (Hrs)	%	Exponencial	Lognormal	Weibull	Gamma		
A1	Tiempo una semana (168 Hrs)	68,88	Tiempo un Mes (720 Hrs)	39,19	954,6	32,17			X	
B2		70,46		42,64	1384,39	30,49		X		
C3		81,9		42,51	841,69	36,78	X			
D4		99,99		98,58	2667,54	41,63		X		
E5		81,64		43,97	1076,57	32,84		X		
F6		90,1		43,73	1086,88	28,54		X		
G7		100		99,99	3207,91	51,7			X	

Fuente. Rel-mant Versión 2001

Se observa que los compresores que presentan la mayor confiabilidad son el D4 y el G7, relativamente del 100% para una semana y un mes, y para el tiempo promedio operativo, presentan un 41,63% y 51,7 % de confiabilidad, respectivamente; seguidamente los compresores C3, G5 y A1 con una confiabilidad para el TPO del 32% al 37%, y finalmente, el menos confiable en función de su tiempo en operatividad continua es el compresor F6, siendo su probabilidad de falla de 71,46%. Por otro lado, tomando como referencia todas las paradas de los compresores que integran la sala, se obtuvo la curva de comportamiento general de confiabilidad, la cual se muestra a continuación:

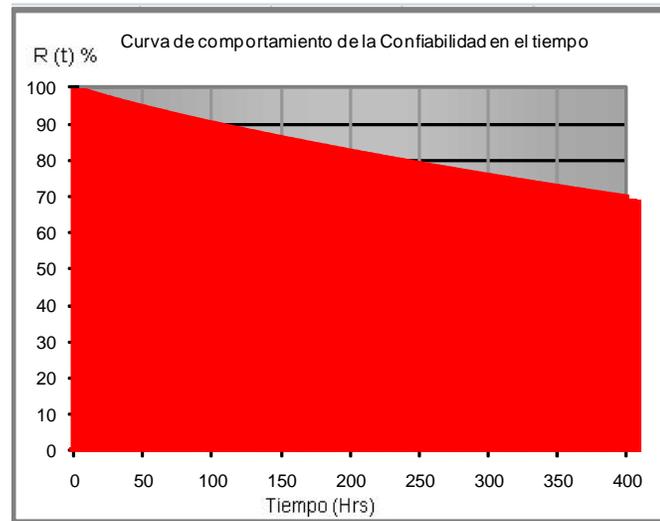


Figura 27. Curva de Comportamiento Confiabilidad Compresores Sala Facilidad 18
Fuente. Rel-mant versión 2001

De la aplicación del software se puede detallar que el TPO de la sala (tiempo durante el cual los equipos funcionan satisfactoriamente antes de que ocurra una falla) es de 1257,59 horas, lo que representa un mes y tres semanas de operación continua, con una confiabilidad del 35,79%. Al evaluar la confiabilidad para 720 horas (1 mes) se obtiene un valor de 53,87% y para una semana (168 horas) es de 84,43%. Esto refleja que la sala tiene menos probabilidad de falla para una semana (15,57%), pero que es poco confiable para el tiempo en que los equipos permanecen en continua operación, evidenciado en que la probabilidad de falla es del 64,21%.

Se detalla además que la distribución que más se ajusta al comportamiento de los datos es la distribución Gamma, con un Número de Kolmogorov de 0,0612.

Por otro lado, para complementar el análisis de este parámetro y ver el comportamiento de las curvas de confiabilidad para cada equipo, según la

distribución estadística que más se adapta, arrojada por el software. (Ver Apéndice D).

2.1.2 Confiabilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo I

Tabla 26. Confiabilidad de los Compresores Sala Complejo I

EQUIPO	CONFIABILIDAD					Distribución			
		%	%	TPO (Hrs)	%	Exponencial	Lognormal	Weibull	Gamma
ZR-5A(N°1)	Tiempo	74,81	Tiempo un Mes (720 Hrs)	28,83	579,03	36,78	X		
ZR-5A(N°2)	una	72,61		16,35	408	39,81			X
ZR-450(N°3)	Semana	64,5		16,24	411,88	32,13		X	
ZA(N°6)	(168 Hrs)	75,43		40,07	1149,73	28,98		X	

Fuente. Rel-mant Versión 2001

En líneas generales, se aprecia que la confiabilidad de cada uno de los equipos de acuerdo al tiempo en que estos permanecen activos es baja, correspondiéndose el menor valor para el compresor ZA N°6 (28,98%) y el mayor valor para el ZR-5A N°2 de 39,81%; para una semana continua de operación los equipos son confiables entre un rango del 64,5% y 75,43%, por tanto, como se evidencia este parámetro cambia con el tiempo, y cada equipo tiene su curva de comportamiento en función de la distribución señalada, la cual se presenta en el Apéndice D.

Aunado a esto para obtener la confiabilidad promedio de la sala, se tomaron los tiempos operativos de cada uno de los equipos que la integran, y fueron procesados por el software Rel-mant versión 2001, arrojando la siguiente curva.

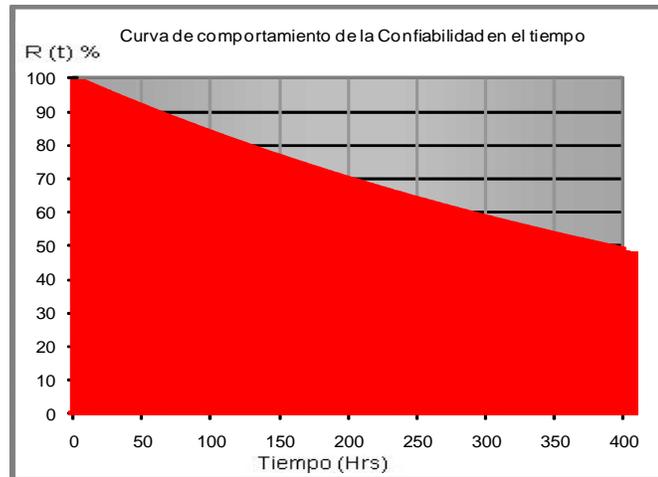


Figura 28. Curva de Comportamiento Confiabilidad Sala Compresores Complejo I

Fuente. Rel-mant versión 2001

Como resultado, se evidencia que la confiabilidad para una semana (168 horas) es del 73, 94%, lo que significa que la probabilidad de falla en ese tiempo es del 27, 06%; sin embargo, tomando como base el tiempo promedio operativo de la sala de 556,48 horas, la confiabilidad es del 36, 78%, lo cual simboliza que hay una alta probabilidad (63,22%) que los compresores fallen en tres semanas aproximadamente, por ende para un mes es aun más baja la confiabilidad (27,42%), y la curva se adapta a la distribución estadística exponencial, la cual describe existencia de envejecimiento de los equipos.

2.1.3 Confiabilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo II

Tabla 27. Confiabilidad de los Compresores Sala Complejo II

EQUIPO	CONFIABILIDAD						Distribución			
	%		%		TPO (Hrs)	%	Exponencial	Lognormal	Weibull	Gamma
ZR-5A(N°1)	Tiempo una Semana (168 Hrs)	53,07	Tiempo un Mes (720 Hrs)	7,55	273,42	36,37				X
ZR-5A(N°2)		58,94		16,65	400,27	31,33		X		
ZR-5A (N°3)		49,42		11,13	297,98	33,69				X
ZR-5A (N°4)		49,57		13,17	337,98	29,37		X		
ZA(N°5)		77,91		42	887,61	35,32				X

Fuente. Rel-mant Versión 2001

De la tabla anterior, se evidencia que la confiabilidad para el tiempo promedio operativo de cada equipo, se encuentra entre el 29 % y 37%, lo cual quiere decir que la probabilidad de que estos equipos cumplan su función es baja; incluso para una semana, la confiabilidad en su mayoría está entre el 49%y 53%, a excepción del compresor ZA N°5 que presenta un 77,91%. Para evidenciar la curva de comportamiento de confiabilidad de cada equipo (ver Apéndice D).

Tomando como referencia, todos los tiempos de operatividad de cada equipo, para conocer el comportamiento de confiabilidad de la sala como un conjunto, se muestra la siguiente curva:

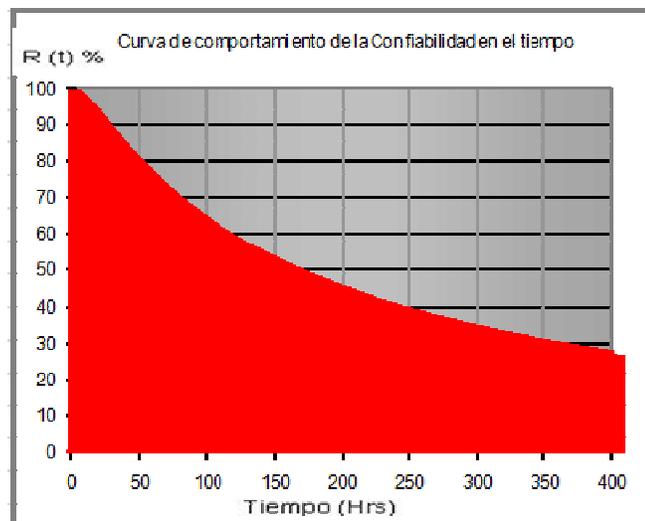


Figura 29. Curva de Comportamiento Confiabilidad de Sala Compresores Complejo II

Fuente. Rel-mant versión 2001

Se resalta, que al evaluar la confiabilidad para una semana se obtiene un porcentaje del 49,90%, para un mes de 15,59%, y en función del tiempo promedio operativo (359,81 horas) del 29,79%, es decir, que la probabilidad de que se presenten fallas en los compresores que integran la sala después de dos semanas, es del 70,21%, por tanto, es baja la confiabilidad de esta sala, y la curva sigue una distribución que se adapta a la distribución

estadística Lognormal, la cual describe fenómenos de envejecimiento incipiente.

2.2 MANTENIBILIDAD

Para el análisis de la mantenibilidad son necesarios los valores de los tiempos fuera de servicio (TFS), los cuales fueron calculados a partir de la información suministrada por el SIGMA, tomando como referencia los tiempos de entrega de producción a mantenimiento, y de mantenimiento a producción, lo que se evidencia en el Apéndice C.

Para este índice de mantenimiento se evaluarán como valores referenciales el valor meta estimado de la gestión de mantenimiento que desea implementar el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento, el cual es de 0,5 horas (30 minutos), y el valor de tiempo promedio fuera de servicio suministrado por el programa, así se muestran las tablas por equipo de cada sala.

2.2.1 Mantenibilidad de los Compresores que integran la Sala de Facilidad 18

Tabla 28. Mantenibilidad de los Compresores Sala Facilidad 18

EQUIPO	MANTENIBILIDAD			Distribución			
	%	TPFS(Hrs)	%	Exponencial	Lognormal	Weibull	Gamma
A1	Tiempo Valor Meta (0,5 Hrs)	8,77	45,62	88,71		X	
B2		15,1	8,097	76,04			X
C3		8,54	12,395	75,43			X
D4		32,87	7,61	74,05			X
E5		7,36	5,287	75,25			X
F6		13,9	23,63	78,6		X	
G7		8,42	154,104	79,02		X	

Fuente. Rel-mant Versión 2001

Se detalla, que la mantenibilidad para cada uno de los equipos, en base al tiempo meta establecido por el departamento de mantenimiento es extremadamente baja, esto evidenciado en que los compresores son equipos que requieren de actividades complejas de mantenimiento que garanticen su óptimo funcionamiento, por lo que resulta complicado tener buena mantenibilidad en corto tiempo. Por su parte, en función de los TPFS de cada equipo, se observa que el que representa el mayor porcentaje de mantenibilidad es el A1 (88,71%) para un tiempo fuera de servicio de aproximadamente dos días, y el compresor que puede ser reparado en menor tiempo es el E5 cuyo TPFS arrojado para el periodo de estudio es de 5,287 Hrs; el que requiere de mayor tiempo de atención es el G7 (154,104 hrs, es decir, casi una semana). Por otra parte, tomando en cuenta la distribución que más se ajusta al comportamiento general de cada equipo, se evidencia que para los compresores B2, C3, D4 y E5 se corresponde con la distribución Weibull, lo que quiere decir que la probabilidad de restaurar el equipo a operación en un lapso de tiempo relativamente corto es alta, en cambio los compresores A1, F6 y G7 presentan una distribución Lognormal, lo que refleja que la probabilidad de restaurar el equipo en poco tiempo es baja.

En complemento, en función de todos los tiempos de paradas de cada equipo, estos fueron unificados, obteniéndose la curva de mantenibilidad general de la sala, que se muestra a continuación:

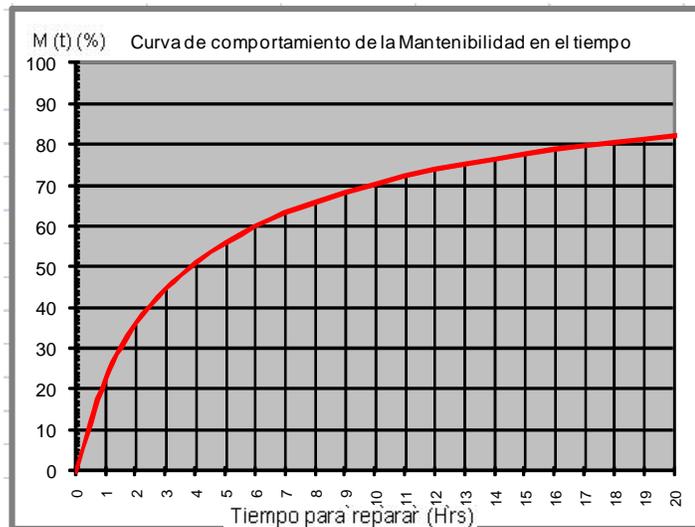


Figura 30. Curva de Comportamiento Mantenibilidad Compresores Sala Facilidad 18
Fuente. Rel-mant versión 2001

Se precisa, que la curva se ajusta al comportamiento de la distribución estadística Lognormal. El software indica que el tiempo promedio probable para reparar es de 25,53 horas siendo la mantenibilidad en este punto de 85,56%, lo que quiere decir que se requiere de aproximadamente tres días de jornada laboral para regresar los equipos a su estado de funcionamiento, por otro lado, para el valor meta (0,5 horas) la mantenibilidad es extremadamente baja (12,95%). Para complementar el estudio, y observar las curvas de mantenibilidad de cada compresor en función del tiempo (ver Apéndice D).

2.2.2 Mantenibilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo I

Tabla 29. Mantenibilidad de los Compresores Sala Complejo I

EQUIPO	MANTENIBILIDAD			Distribución			
	%	TPFS(Hrs)	%	Exponencial	Lognormal	Weibull	Gamma
ZR-5A(N°1)	Tiempo Valor Meta (0,5 Hrs)	9,02	5,46	70,93			X
ZR-5A(N°2)		8,66	5,51	65,9	X		
ZR-450(N°3)		6,46	40,1	91,7		X	
ZA(N°6)		0,04	3,92	59,95		X	

Fuente. Rel-mant Versión 2001

Se resalta, que el compresor que presenta el mayor porcentaje de mantenibilidad es el ZR-450 N°3, con un 91,7%, pero para ello requiere en promedio de una semana de intervención, mientras que el compresor ZR-5A N°1, tiene una mantenibilidad de 70,93% para un TPF S de 5,46 horas, y los compresores ZR-5A N°2 y ZA N°6, presentan una mantenibilidad de 65,9 % y 59,95%, respectivamente. Al evaluar esta mantenibilidad, para media hora se obtiene un porcentaje considerablemente bajo, siendo el compresor ZA N°6, el que representa el menor valor (0,04%). Para complementar, el análisis específico de este parámetro para cada equipo se muestran las curvas de mantenibilidad correspondiente en el Apéndice D.

De esta manera, se muestra la curva de comportamiento de mantenibilidad de la Sala de compresores de Complejo I.

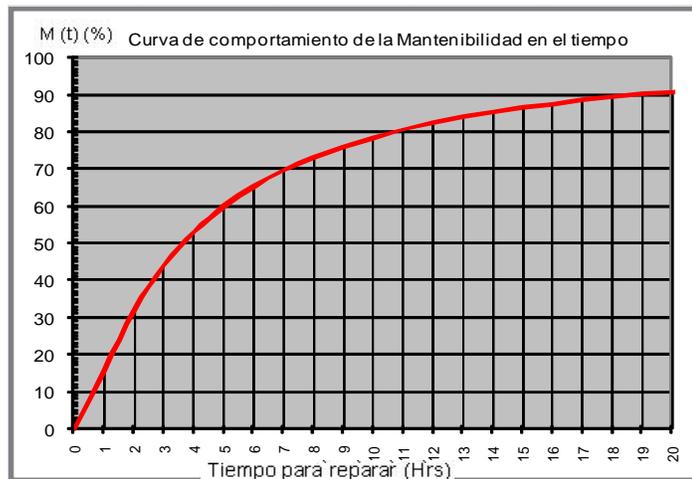


Figura 31. Curva de Comportamiento Mantenibilidad Compresores Sala Complejo I
Fuente. Rel-mant versión 2001

El software indica, que el tiempo promedio fuera de servicio de los equipos que integran la sala, es de 15,76 horas, correspondiéndose para este una mantenibilidad del 87,60%, y para el valor meta (0,5 horas) es de 6,06 %. A su vez, la curva sigue la distribución lognormal, lo que quiere decir, que es poco probable realizar mantenimiento al equipo en un tiempo corto, es por ello, que el porcentaje de mantenibilidad es alto para tiempos largos de mantenimiento.

2.2.3 Mantenibilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo II

Tabla 30. Mantenibilidad de los Compresores Sala Complejo II

EQUIPO	MANTENIBILIDAD			Distribución			
	%	TPFS(Hrs)	%	Exponencial	Lognormal	Weibull	Gamma
ZR-5A(N°1)	7,64	10,09	79,14			X	
ZR-5A(N°2)	1,84	33,46	90,64		X		
ZR-450(N°3)	6,65	8,7	81,58			X	
ZR-5A(N°4)	3,85	7,9	78,17			X	
ZA(N°5)	2,8	72,55	82,7		X		

Fuente. Rel-mant Versión 2001

Se detalla, que el compresor que tiene la mayor mantenibilidad es el ZR-5A N², para un TPFS de 33,46 horas, seguido del compresor ZA N⁵ con un valor de mantenibilidad del 82,7%, en contraste el equipo de menor mantenibilidad es el ZR-5A N⁴, con un porcentaje de 78,17%. En líneas generales, los porcentajes de mantenibilidad son aceptables, pero se requiere de mucho tiempo de reparación por equipo, por ende es poco probable restablecer el equipo a su óptimo funcionamiento en cortos periodos de tiempo. (Ver Apéndice D), para observar la curva de comportamiento de cada equipo.

Por otro lado, la curva de comportamiento general de mantenibilidad de los equipos, considerando la sala como un conjunto, es la siguiente:

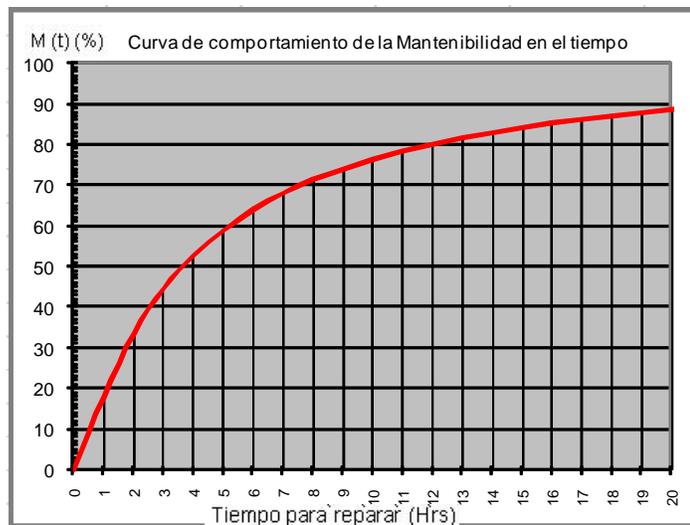


Figura 32. Curva de Comportamiento Mantenibilidad de Compresores Sala Complejo II
Fuente. Rel-mant versión 2001

En la gráfica anterior, se detalla la curva de comportamiento de la mantenibilidad en función del tiempo promedio de reparación de los equipos, detallándose que al evaluar la misma, para el valor meta se obtiene un porcentaje de 7,90, lo cual, refleja, que es improbable mantener los equipos en breves fracciones de tiempo, en cambio, para el tiempo promedio

probable de reparar arrojado por el software de 17,92 horas, la mantenibilidad es de 87,32%. Los datos se adaptan a la distribución Lognormal.

2.3 DISPONIBILIDAD

Para este índice de mantenimiento, el software Rel-mant versión 2001 ofrece el valor estimado de la disponibilidad probable del equipo, lo cual permite detallar el porcentaje probable que tiene el equipo de cumplir su misión (operable).

En referencia a esto se presentan tablas, donde se puede observar la disponibilidad de cada uno de los compresores que integran las Salas de Facilidad 18, Complejo I y II.

2.3.1 Disponibilidad de los Compresores que integran la Sala de Facilidad 18

Tabla 31. Disponibilidad de los Compresores Sala Facilidad 18

SALA FACILIDAD 18	
EQUIPO (COMPRESOR)	DISPONIBILIDAD (%)
A1	95,44
B2	99,42
C3	98,55
D4	99,72
E5	99,51
F6	97,87
G7	95,42
Promedio	97,99

Fuente. Rel-mant Versión 2001

De la tabla anterior, se evidencia que en promedio la disponibilidad de los equipos que integran la sala es de un 97,99%, evidenciado en que los valores para cada equipo están por encima del 95%, lo que indica que

tienen una alta probabilidad de estar disponibles para cumplir su misión, no obstante esto no significa que lo hagan funcionando normalmente, es decir, que se encuentren en perfecto estado, razón que se ve reflejada en el análisis de fallas y los parámetros de confiabilidad y mantenibilidad.

2.3.2 Disponibilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo I

Tabla 32. Disponibilidad de los Compresores Sala Complejo I

SALA COMPLEJO I	
EQUIPO (COMPRESOR)	DISPONIBILIDAD (%)
ZR5A (N°1)	99,07
ZR5A (N°2)	98,67
ZR-450 (N°3)	91,13
ZA	99,66
Promedio	97,13

Fuente. Rel-mant Versión 2001

En base a la tabla anterior, se puede decir que los valores de disponibilidad de cada uno de los equipos son altos, donde el menor valor se corresponde a 91,13% (compresor ZR-450 N°3) y el mayor valor (99,66%) al compresor ZA. Por consiguiente, la disponibilidad en general de la sala, es de un 97,13%.

2.3.3 Disponibilidad de los Compresores que integran la Sala de Complejo II

Tabla 33. Disponibilidad de los Compresores Sala Complejo II

SALA COMPLEJO II	
EQUIPO (COMPRESOR)	DISPONIBILIDAD (%)
ZR-1	96,44
ZR-2	92,29
ZR5A (N°3)	97,16
ZR5A (N°4)	97,71
ZA (N°5)	92,44
Promedio	95,21

Fuente. Rel-mant Versión 2001

Se distingue, que la disponibilidad de los equipos se encuentra en un rango entre 92% y 98%, lo que representa que es muy probable que el equipo garantice su misión y con ello contribuya con la generación de aire de la sala; por su parte, la disponibilidad promedio de la sala es del 95,21%, por tanto, es la sala donde se encuentra el menor porcentaje de disponibilidad, correspondiéndose a que los equipos de la misma fallan con mayor frecuencia.

3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD NOMINAL ACTUAL DE AIRE COMPRIMIDO SUMINISTRADO POR SALA

Para determinar la capacidad generada de aire por cada sala, se consideraron, dos aspectos fundamentales la presión y caudal de diseño de los equipos.

Para los equipos Ingersoll Rand, se tomó como porcentaje de eficiencia el 83%, valor promedio suministrado por el Departamento de Mantenimiento, de un estudio de eficiencia realizado por la empresa. (Ver anexo 3).

Por otro lado, para los equipos ZR y ZA, se consideraron los valores de presión promedio de salida registrados por día para cada sala durante el mes de Marzo de 2011, así se determinó la presión promedio del mes, y en base a ello se estableció la relación de la presión de diseño versus la presión calculada, obteniendo el porcentaje de eficiencia al cual están trabajando los compresores actualmente. Y por consiguiente, se obtuvo el valor que representa el porcentaje obtenido con respecto al caudal de diseño, buscando obtener la capacidad de generación más cercana a la real. (Ver Apéndice E). Cabe destacar, que se realizó de esta manera, debido a que en las salas no hay medidores de caudal, y solo llevan registro de las presiones de trabajo.

En consecuencia, se realizaron las tablas correspondientes para cada sala, considerando en unas la capacidad para la cual fue diseñada la sala (caudal de diseño y número iniciales de equipos instalados), y en otras la capacidad de generación actual, en función de los porcentajes de eficiencia obtenidos y el número de equipos actuales operativos. En todas las tablas, se refleja la capacidad generada por equipo, la capacidad total de la sala, el peso (importancia) de cada equipo para cada sala. Así, como la tabla resumen, que contempla las tres salas de estudio.

3.1 CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE AIRE DE LA SALA DE FACILIDAD 18

Primeramente se muestra, la capacidad para la cual fue diseñada la sala, considerando el caudal de diseño, de acuerdo al modelo del equipo.

Tabla 34. Caudales de Diseño de los Equipos instalados en Sala Facilidad 18

RELACIÓN CAUDAL DISEÑO (FACILIDAD 18)		
MODELO	INGERSOLLRAND	ZR450
CAUDAL (Cfm)	2016	2773

Fuente. Autora

En base, a los caudales mostrados en la tabla anterior, se cálculo la capacidad de generación por modelo de equipos, y con ello la de la sala. (Ver tabla 35).

Tabla 35. Capacidad de diseño de Sala Facilidad 18

SALA DE COMPRESORES DE FACILIDAD 18 (Capacidad de Diseño)			
CARACTERISTICA	INGERSOLL RAND (6 Equipos)	ZR-450 (2 Equipos)	TOTAL
Caudal (Cfm)	12096	5546	17642
Peso (%)	68,56	31,44	100,00

Fuente. Autora

Luego, para el cálculo de la capacidad actual, se tomó para los Ingersoll-Rand el valor de 83% de eficiencia y para los ZR-450, se obtuvo el porcentaje de la siguiente manera:

Presión Programada de Trabajo → 100%

Presión Promedio (Marzo 2011) → X

100 Psi → 100%

83,23 Psi → X

Eficiencia = 83,23%

Se tomaron estos dos porcentajes, y se calculó lo que representan del caudal de diseño de cada equipo, obteniendo así el caudal real. (Ver tabla 36).

Tabla 36. Caudal Real de Equipos de Sala Facilidad 18

SALA DE COMPRESORES DE FACILIDAD 18		
Modelo	INGERSOLL-RAND	ZR450
Caudal Diseño (Cfm)	2016	2773
Eficiencia (%)	83	83,23
Caudal Real (Cfm)	1673,28	2307,97

Fuente. Autora

Finalmente, en función del caudal real obtenido y el número de equipos operativos en la sala, se obtuvo la cantidad de aire generado.

Tabla 37. Capacidad de Generación Actual de Aire Comprimido Sala Facilidad 18

SALA DE COMPRESORES DE FACILIDAD 18			
CARACTERISTICA	INGERSOLL RAND (5 Equipos)	ZR-450 (2 Equipos)	TOTAL (7 Equipos)
Cfm	8366,4	4616	12982,34
Peso (%)	64,44	35,56	100,00

Fuente. Autora

Así, se evidencia que la sala genera 12982,34 Cfm, de los cuales son los equipos Ingersoll-Rand los que contribuyen en mayor proporción con esta generación, correspondiéndose con 8366,4 Cfm, lo que representa un 64,44% del total.

Por otra parte, comparando este valor de generación actual (12982 Cfm) con los de diseño mostrados en la tabla 35 (17642 Cfm), se obtiene que la sala ha disminuido su capacidad de generación en un 26,41%, lo que se puede atribuir al porcentaje de eficiencia al cual están trabajando los equipos y a que uno de los compresores se encuentra fuera de servicio.

3.2 CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE AIRE DE LA SALA DE COMPLEJO I

En primera instancia se muestran, los valores de caudales de diseño de cada equipo, y la capacidad para la cual fue diseñada la sala. (Ver tabla 38 y 39).

Tabla 38. Caudales de Diseño de los Equipos instalados en Sala Complejo I

RELACIÓN DE CAUDAL DISEÑO (complejo I)				
MODELO	ZR5A	ZR450	ZA5A	GA90
CAUDAL (Cfm)	2384	2773	2373	518

Fuente. Autora

Tabla 39. Capacidad de diseño de Sala Complejo I

SALA DE COMPRESORES DE COMPLEJO I					
CARACTERISTICA	ZR-5A (3 Equipos)	ZR-450 (2 Equipos)	ZA-5A (1 Equipo)	GA 90 (2 Equipos)	TOTAL (8 equipos)
Cfm	7152	5546	2373	1036	16107
Peso (%)	44,40	34,43	14,73	6,43	100,00

Fuente. Autora

En cuanto, a la capacidad actual de generación, se calculó la eficiencia, basándose en la presión promedio de la sala, tal como se muestra a continuación:

Presión de Diseño —————> 100%

Presión Promedio (Marzo 2011) —————> X

125 Psi —————> 100%

103,29 Psi —————> X

Eficiencia = 82,63%

En base a este porcentaje y el caudal de diseño, se obtuvo el caudal real, y con este y los equipos operativos/disponibles, la capacidad total de generación de la Sala de Complejo I. (Ver tabla 40 y 41).

Tabla 40. Caudal Real de Equipos de Sala Complejo I

SALA DE COMPRESORES DE COMPLEJO I			
Modelo	ZR-450	ZR-5A	ZA
Caudal de Diseño (Cfm)	2773	2384	2373
Eficiencia (%)	82,63		
Caudal Real (Cfm)	2291,33	1969,90	1960,81

Fuente. Autora

Tabla 41. Capacidad de Generación Actual de Aire Comprimido Sala Complejo I

SALA DE COMPRESORES DE COMPLEJO I				
CARACTERISTICA	ZR-5A (2 Equipos)	ZR-450 (1 Equipo)	ZA (1 Equipo)	TOTAL (4 equipos)
Cfm	3939,80	2291,33	1960,81	8191,94
Peso (%)	48,09	27,97	23,94	100,00

Fuente. Autora

Como resultado, se observa que la sala genera 8191,94 cfm, de los cuales son los ZR-5A los que aportan mayor cantidad de aire (3939,80 Cfm), sin embargo, es el equipo ZR-450 el que individualmente posee la capacidad de generar mayor caudal. Aunado a ello, la sala en sus inicios tenía la capacidad de generar 16107 Cfm, lo que significa que al compararla con lo generado actualmente (8191,94 Cfm), se refleja que está trabajando en un 50, 85%, atribuyéndose tal situación a que solo se encuentran cuatro equipos operando de los ocho instalados en sus inicios.

3.3 CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE AIRE DE LA SALA DE COMPLEJO II

Para comenzar, se indican los caudales de diseño por equipo, y con ello la capacidad de generación, para la cual fue diseñada la sala. (Ver tabla 42 y 43).

Tabla 42. Caudales de Diseño de los Equipos instalados en Sala Complejo II

RELACIÓN DE CAUDAL			
MODELO	ZR5A	ZA5A	GA90
CAUDAL (Cfm)	2384	2373	518

Fuente. Autora

Tabla 43. Capacidad de diseño de Sala Complejo II

SALA DE COMPRESORES DE COMPLEJO II				
CARACTERISTICA	ZR-5A (4 Equipos)	ZA-5A (2 Equipos)	GA 90 (2 Equipos)	TOTAL (8 Equipos)
Cfm	9536	4746	1036	15318
Peso (%)	62,25	30,98	6,76	100,00

Fuente. Autora

Seguidamente, se resalta que el cálculo de la eficiencia, fue ejecutado de forma análoga al de las salas anteriores, variando que el valor obtenido de presión promedio fue de 103,19 Psi, por tanto, el porcentaje de eficiencia correspondiente es 82,55%, así se dedujo lo que representa este porcentaje del caudal de diseño, obteniendo el caudal real. (Ver tabla 44).

Tabla 44. Caudal Real de Equipos de Sala Complejo II

SALA DE COMPRESORES DE COMPLEJO II		
Modelo	ZR-5A	ZA
Caudal de diseño (Cfm)	2384	2373
Eficiencia (%)	82,55	
Caudal Real (Cfm)	1967,99	1958,91

Fuente. Autora

Tomando como referencia, los caudales reales y los equipos que se encuentran en funcionamiento y disponibles, se obtuvo la capacidad de generación de la sala.

Tabla 45. Capacidad de Generación Actual de Aire Comprimido Sala Complejo II

SALA DE COMPRESORES DE COMPLEJO II			
CARACTERISTICA	ZR-5A (4 Equipos)	ZA (1 Equipo)	TOTAL (5 Equipos)
Caudal (Cfm)	7871,97	1958,91	9830,88
Peso (%)	80,07	19,93	100,00

Fuente. Autora

Por consiguiente, se evidencia que la sala tiene una capacidad de generación de 9830,88 Cfm, donde la mayor importancia la tienen los compresores ZR- 5A, ya que generan el 80,07% del total de aire.

A su vez, al comparar la capacidad para la cual fue diseñada la sala (15318 Cfm), con la capacidad de generación actual (9830,88 Cfm), se tiene que la sala ha disminuido su capacidad en un 35, 82%, lo que significa que produce 5487,12 Cfm menos, atribuido a que se encuentra operando con cinco equipos de los ocho instalados.

Finalmente, como resumen de todo lo señalado anteriormente, se presentan dos tablas, una que comprende la cantidad total de aire generado por las tres salas según lo diseñado, y la otra la cantidad total generada actualmente, no obstante, en ambas se representa la sala que tiene la mayor importancia con respecto al total.

Tabla 46. Cantidad Total de Aire Comprimido Según Diseño

GENERACIÓN TOTAL DE AIRE (Diseño)		
SALA	CAPACIDAD (Cfm)	PESO (%)
Facilidad 18	17642	35,95
Complejo I	16107	32,83
Complejo II	15318	31,22
Capacidad Total de Generación	49067	100,00

Fuente. Autora

Tabla 47. Cantidad Total de Aire Comprimido Actual

GENERACIÓN TOTAL DE AIRE (Actual)		
SALA	CAPACIDAD (Cfm)	PESO (%)
Facilidad 18	12982,34	41,87
Complejo II	9830,88	31,71
Complejo I	8191,94	26,42
Capacidad Total de Generación	31005,15	100,00

Fuente. Autora

De las tablas anteriores, se expresa que la sala que tiene la mayor generación de aire según lo diseñado es la de Facilidad 18, y que mantiene su posición actualmente, por lo tanto, recae el mayor peso sobre ésta; en cambio, de acuerdo al diseño la sala de complejo I se impone sobre la sala de Complejo II, pero al presente esa situación es opuesta, debido a que complejo II genera 9830, 88 Cfm, lo que representa una importancia de 31,71% del total de generación y Complejo I produce 8191,94 Cfm (26,42%). Por Consiguiente, es la sala de Complejo I la que ha bajado en mayor proporción (49,14%) su producción de aire, atribuido a que tiene cuatro equipos fuera de servicio.

Del mismo modo, para obtener una mejor visualización de los datos presentados en las tablas anteriores, se muestran los siguientes diagramas de barras:

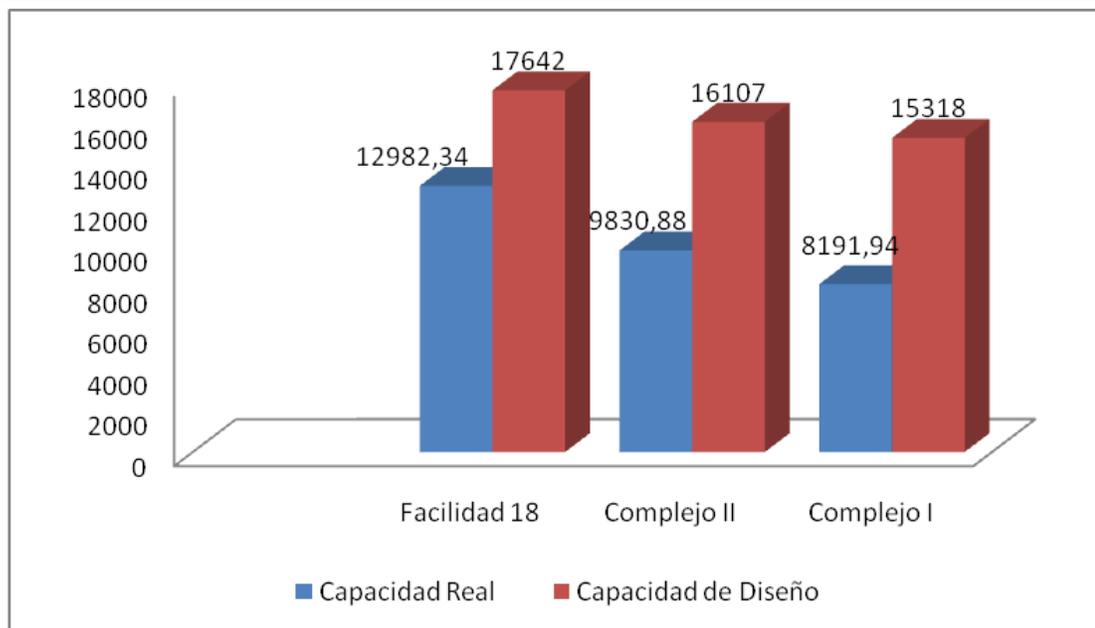


Figura 33. Diagrama de Comparación de Capacidad Real y Capacidad de Diseño de cada Sala Generadora de Aire Comprimido

Fuente. Autora

En la figura anterior, se muestra la comparación de la capacidad real generada por cada sala y la capacidad para la cual fue diseñada, resaltándose que en todas ha disminuido la capacidad, pero es en Complejo I donde se encuentra la mayor disminución, puesto que la capacidad de generación disminuyó en un 49,14%, es decir, que produce 7915,06 Cfm menos, cantidad alarmante pues está cercana a la generada. Por lo demás, cabe señalar, que Facilidad 18 disminuyó su capacidad en un 26,41%, es decir, 4660Cfm, Complejo II un 35,82% lo que representa 5487,12 Cfm.

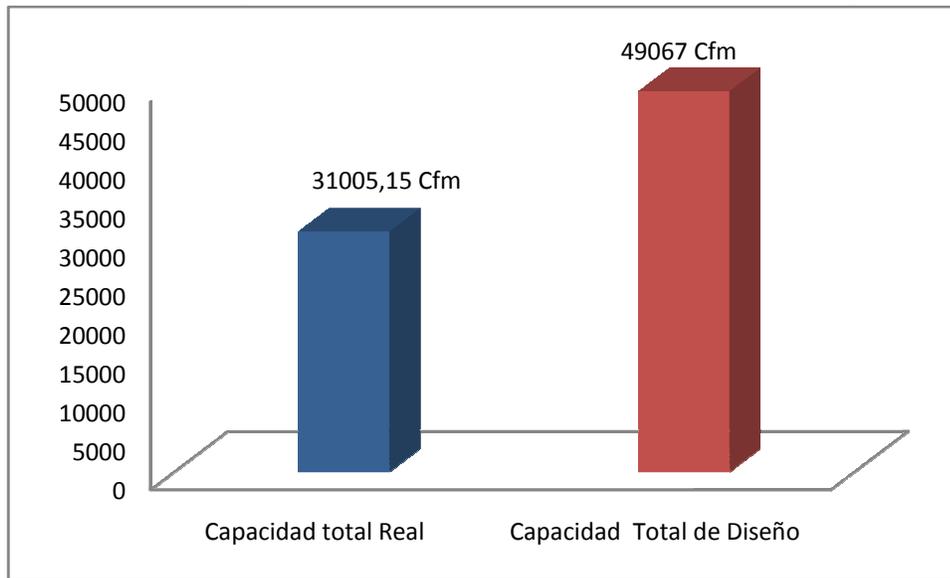


Figura 34. Diagrama de Capacidad Total Real y Capacidad Total de Diseño.

Fuente. Autora

En la figura, se resalta la cantidad total de aire de acuerdo al diseño y la generada actualmente, notándose que ésta se ha reducido en un 36,81%, reflejado en que se producen 9783,65 Cfm menos de lo planteado inicialmente, esto sin tomar en cuenta las pérdidas, es decir, que en teoría es la cantidad de aire que sale en conjunto de todos los equipos de las tres salas, pero no es la que llega a las unidades usuarias, producto de la gran pérdida por fuga de tuberías, debido a la corrosión y deterioro de las mismas, así como a válvulas dañadas.

4. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AIRE EN PLANTA

El aire comprimido, es de vital importancia, para el desarrollo del proceso productivo llevado a cabo en la empresa, desde el traslado de la materia prima, la fabricación de ánodos, reducción del aluminio hasta la obtención del producto final, al igual que para la realización de las actividades de mantenimiento requeridas en las distintas áreas.

Por tanto, son muchas las unidades usuarias en planta, primordiales y secundarias que requieren de este servicio industrial. A continuación se muestran cada una de ellas:

- **Planta de Carbón:** Es la encargada de la producción de ánodos, para ello cuenta con:
- ✓ **Molienda y Compactación:** En la cual, se realiza la fabricación de ánodos verdes, para lograr tal actividad, tiene instalados una serie de equipos que operan, a través de aire comprimido, estos son los siguientes:

Tabla 48. Consumo de Aire Comprimido en Molienda y Compactación

EQUIPO	CANTIDAD	DEMANDA UNITARIA (Scfm)	DEMANDA TOTAL (Scfm)	FACTOR DE USO (%)	USO (Scfm)
Mezcladoras (2 a la vez)	16	84	168	1,2	2
Compactadoras	3	368	1104	5	55
Compuertas de Cuchillas	45	9	405	1	4
Controladores	30	4	120	100	120
Soplador-Colector	15	45	675	100	675
Martillo-Perforador	2	100	200	25	50
Conexiones de Mangueras	2	75	300	50	150
Total de Consumo y Pérdidas (20%)			3566		1268

Fuente. Autora

- ✓ **Hornos de Cocción:** Es el responsable de someter los ánodos verdes a un proceso de cocción en hornos cerrados, durante un período de 16 a 18 días, utilizando gas natural proveniente del sistema de tuberías de la empresa, y aire adquirido mediante un sistema de alimentación independiente del sistema de generación de aire comprimido de las salas. Por tanto, en esta área no se utiliza el aire comprimido para la realización del proceso de cocción, sin embargo, es utilizado de forma indebida para limpieza y mantenimiento de equipos y espacios.

- ✓ **Sala de Envarillado:** En ella, se realiza el acople del ánodo cocido a las barras conductoras de electricidad (varillas), para cumplir con parte del proceso, utiliza equipos y mecanismos que operan, a través de aire comprimido.

Tabla 49. Consumo de Aire Comprimido en Sala de Envarillado

EQUIPO	CANTIDAD	DEMANDA UNITARIA (Scfm)	DEMANDA TOTAL (Scfm)	FACTOR DE USO (%)	USO (Scfm)
Transporte de Anodos Envarillados (todos a la vez)	50	5	250	12	30
Rociadoras	3	100	300	100	300
Colector de Polvo	2	109	218	100	218
Sistema de Envío Neumático	1	95	95	90	86
Conexiones de Manguera	2	75	150	50	75
Total de Consumo y Pérdidas (20%)			1216		850

Fuente. Autora

- **Complejos de Reducción:** En estos complejos (I y II) se realiza el proceso de reducción de la alúmina para obtener aluminio primario, para ello se utilizan las celdas electrolíticas, donde son llevadas a cabo un conjunto de operaciones que requieren de aire comprimido, por tanto son los complejos, los que requieren del uso continuo del mismo.

En consecuencia, se presenta en detalle cada una de las actividades, que requieren de este servicio industrial, así como los cálculos de la cantidad requerida, a fin de obtener el consumo estimado de aire de ambos complejos.

- ✓ **Celdas Electrolíticas:** Reciben aire para sus operaciones, cada una posee un filtro y nueve válvulas direccionales que se conectan con cuatro cilindros rompecostras y cinco cilindros dosificadores, dichos cilindros son accionados neumáticamente, el cálculo del caudal requerido para su accionamiento es el siguiente:

- **Cilindro Neumático Rompecostra o de Doble Efecto (C41-160-40-400+F00)**

Características:

Serie del Cilindro: C41

Diámetro del Cilindro: 160mm (16cm)

Diámetro del Vástago: 40mm (4cm)

Longitud de Carrera: 400mm (40cm)

Características de Trabajo: F00 (Alta temperatura)

Para el cálculo del caudal consumido por los cilindros rompecostras, se consideró la siguiente ecuación:

$$Q = \left[\left(\frac{S * D^2 * \pi}{4} \right) + \frac{(D^2 - d^2) S * \pi}{4} \right] n * i \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Q= Caudal

S= Longitud de Carrera

D= Diámetro del Cilindro

d= Diámetro del Vástago

i= Relación de Compresión.

n= Ciclos por minutos

Para la relación de la compresión se tiene que, la presión a la cual trabajan los cilindros es a 6,5 bar, lo que es igual a 650Kpa, así:

$$i = \frac{101,3 \text{ kpa} + 650 \text{ kpa}}{101,03 \text{ kpa}} = 7,41$$

Para el número de ciclos por minutos, se tiene que el promedio de golpes diarios es de 1000 golpes/día, por tanto, n= 0,694 golpes/min.

Así, sustituyendo en la Ecuación 1, se tiene que:

$$Q = \left[\left(\frac{40\text{cm} * 16^2\text{cm} * \pi}{4} \right) + \frac{(16^2 - 4^2)40 * \pi}{4} \right] 0,694 * 7,41$$

$$Q = 80132,60 \text{ Cm}^3 / \text{min} = 2,8298 \text{ Cfm}$$

Ese representa el caudal para un cilindro, como son 4 por celdas, el caudal consumido por accionamiento de los cilindros rompecostras es el siguiente:

$$Q = 2,8298 \text{ Cfm} * 4$$

$$Q = 11,3192 \text{ Cfm}$$

- Cilindro Neumático Dosificador (C40-50-20-160+F00)

Características:

Serie del Cilindro: C40

Diámetro del Cilindro: 50mm (5 cm)

Diámetro del Vástago: 20mm (2cm)

Longitud de Carrera: 160mm (16cm)

Características de Trabajo: F00 (Alta temperatura)

Para el cálculo del caudal consumido por los cilindros dosificadores, se utilizó la ecuación 1, así sustituyendo se tiene:

$$Q = \left[\left(\frac{16\text{cm} * 5^2\text{cm} * \pi}{4} \right) + \frac{(5^2 - 2^2)16 * \pi}{4} \right] 0,694 * 7,41$$

$$Q = 2972,66 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 0,1049 \text{ Cfm}$$

Ahora, por concepto de los cinco cilindros dosificadores el caudal consumido es el siguiente:

$$Q = 0,1049 \text{ Cfm} * 5$$

$$Q = 0,5245 \text{ Cfm}$$

Finalmente, el caudal consumido por accionamiento de ambos cilindros para una celda electrolítica es igual a:

$$Q_{Tc} = Q_R + Q_D$$

$$Q_{Tc} = 11,3192 \text{ Cfm} + 0,5245 \text{ Cfm} = 11,8437 \text{ Cfm}$$

Para el caso de Complejo I, actualmente se encuentran operativas 97 celdas, tanto para línea 1 como línea 2, por lo tanto son 194 las celdas en funcionamiento de las 360 existentes, de allí, que el consumo de aire demandado por concepto de cilindros neumáticos es el siguiente:

$$Q_{Tc-Complejo I} = 11,8437 \text{ Cfm} * 194 = 2297,6778 \text{ Cfm}$$

Por su parte, Complejo II, en este momento, posee 100 celdas operativas en línea 3 y 102 en línea 4, lo que en total conforman 202 celdas de las 360 instaladas, siendo el consumo de estas por accionamiento de cilindros el siguiente:

$$Q_{Tc-Complejo II} = 11,8437 \text{ Cfm} * 202 = 2392,4274 \text{ Cfm}$$

Por otro lado, para ambos complejos, considerando el funcionamiento de las 360 celdas que integran las líneas de producción en cada uno de ellos, se tendría un consumo, considerado como el máximo por complejo, por concepto de accionamiento de cilindros de:

$$Q_{Tc}(\text{Máxima por Complejo}) = 11,8437 \text{ Cfm} * 360 = 4263,732 \text{ Cfm}$$

- Trasegado

Una vez, que las celdas realizan el proceso electrolítico y se obtiene el aluminio líquido, se realiza el trasegado, es decir, se extrae el metal líquido de la celda y se pasa a los crisoles.

Para el cálculo del caudal requerido en la realización de esta actividad, se consideró lo siguiente:

1. El horario de trabajo, se divide en tres turnos, cada complejo tiene dos líneas de producción, donde se trasegan 60 celdas en cada una por turno, y para ello cada línea tiene cuatro grúas operativas, por tanto, se asume los cálculos para el mayor consumo generado cuando las ocho grúas se encuentran operando simultáneamente, sin embargo, actualmente, operan de forma simultánea cuatro grúas, debido al número de celdas operativas y a las caídas de presión de aire.
2. Las presiones a la salida de la línea de aire principal (4,95 Bar).
3. El promedio de aluminio extraído por celda es de 1200kg en un tiempo promedio de 3 min (180 s).
4. La densidad del aluminio es de 2380 Kg/m³

Así, la ecuación empleada es la siguiente:

$$Q_{Trasegado} = Q_{Succión} + Q_{Entrada} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$Q_{Succión} = \frac{V_{Aluminio}}{T_{Trasegado}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$V_{Aluminio}$ = Volumen del Aluminio Extraído

$T_{Trasegado}$ = Tiempo de trasegado

$$V_{Aluminio} = \frac{Masa}{Densidad}$$

$$V_{Aluminio} = \frac{1200 \text{ kg}}{2380 \text{ kg/m}^3} ; V_{Aluminio} = 0,5042 \text{ m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación 3, se obtiene:

$$Q_{Succión} = \frac{0,5042 \text{ m}^3}{180 \text{ s}} = 2,80 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 5,9364 \text{ Cfm}$$

Para el caudal del aire en el conjunto tapa crisol, se calcula el caudal en la entrada del eyector, para ello fue considerado un valor experimental realizado por Charles Corredor en su trabajo de pasantía sobre “Mejora en el Proceso de Trasegado”, siendo este la velocidad del aire de 173 m/s, de allí se obtiene:

$$Q_{Entrada} = V_{Aire} * A_{manguera} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$Q_{Entrada} = \frac{173 \text{ m}}{\text{s}} * \frac{\pi}{4} * (0,017 \text{ m})^2 = 0,0392 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 83,2527 \text{ Cfm}$$

Finalmente, el caudal por concepto de trasegado se obtiene sustituyendo en la ecuación 2.

$$Q_{Trasegado} = Q_{Succión} + Q_{Entrada}$$

$$Q_{Trasegado} = 5,9364 \text{ Cfm} + 83,2527 \text{ Cfm} = 89,1884 \text{ Cfm}$$

Ahora bien, para conocer el consumo actual por concepto de trasegado, se multiplica por el número de grúas que operan actualmente de forma simultánea, siendo estas dos por cada línea, es decir, cuatro en total para cada complejo:

$$Q_{Trasegado} = 89,1884 \text{ Cfm} * 4 = 356,7536 \text{ Cfm}$$

Por otro lado, para conocer el consumo máximo del trasegado, se multiplicará el caudal obtenido por la máxima cantidad de grúas operativas de forma simultánea:

$$Q_{Trasegado (Máximo)} = 89,1884 \text{ Cfm} * 8 = 713,5072 \text{ Cfm}$$

- **Celdas de Casco Rojo**

Estas celdas se encuentran en condiciones operativas anormales, por ello mantienen un suministro de aire continuo por un periodo promedio de cuatro días, y el promedio de celdas por semana es de tres, usándose dos mangueras para cada celda. Para el cálculo del consumo de aire de estas celdas, se consideró el valor experimental arrojado por Yilber Mota, en su trabajo de pasantía “Estudio Del Sistema De Aire Comprimido para Trasegado Y Operación De Celdas P-19 De CVG Venalum”, siendo el caudal obtenido de 315 Cfm.

- **Accionamiento de las Válvulas Pinch y Globos 3 vías.**

Estas válvulas son las encargadas de direccionar el material que se dirige hacia cada una de las celdas a la hora de realizar el proceso de reducción, por tanto, dentro del sistema de redes de tuberías, provisto arriba de las celdas, cada una contiene una válvula pinch y una tres vías. En el caso de las válvulas 3 vías, el suministro de aire es continuo en la válvula que se

encuentra en la celda que recibe el material transportado, en cambio, para la válvula pinch, el suministro de aire se realiza en las válvulas de las celdas que no están recibiendo material, para mantenerlas cerradas y evitar que este ingrese a la misma. (Ver Anexo 4).

Para la realización de ambas actividades, se requiere mantener una presión alta de trabajo, entre los 116 y 130 Psi (8-9 bares), que garantice el óptimo funcionamiento del sistema, y la cantidad de aire requerida de acuerdo al diseño (Alesa) es de 520 Cfm, indistintamente del número de celdas operativas

✓ **Fase Densa:** Es el sistema encargado del transporte de Fluoruro de Aluminio, Baño Molido y Alúmina (Insumos) que requieren las celdas para su operación, para ello, utilizan el aire comprimido, ya que se realiza un transporte neumático, el cual, según la secuencia del sistema se clasifica en:

- Zona de Mezcla: Donde se inicia la transportación, se realiza la mezcla de aire y el material, para luego ser inyectada en estado de polvo en la tubería. Es la zona que se conoce como bomba de polvo o vasija de presión, en la cual, las vasijas se encuentran debajo de los silos de almacenamiento, recibiendo alimentación directa de ellos, y localizándose entre estos, dos válvulas de cuchilla (manual y neumática) y una válvula cono.
- Zona de Transporte: Donde se da el transporte medio del material, a través, del accionamiento a lo largo de las tuberías de las válvulas de bolas, desviadores de flujos y válvulas pinch.
- Zona de Descarga y Separación: Donde se separa el aire y el material, y este llega a las celdas que requieren ser alimentadas.

De esta manera, una vez descrito el sistema, es notoria la importancia del suministro continuo del aire para trasladar el material desde los silos hasta llegar a las celdas, siendo la presión óptima de trabajo de 101 a 116 Psi (7 a 8 bar), y un requerimiento de aire, según Alesa 4768 Cfm y la demanda máxima 5400 Cfm. (Ver Anexo 5).

- ✓ **Sistema Flakt:** Es el encargado de recuperar la alúmina, para ello extraen los aditivos presentes en las celdas, y los llevan a las plantas de Tratamiento de Humo (PTH). Para ello, la presión de trabajo requerida es baja de 43,5 Psi (3 bar), y el caudal del aire según diseño es de 1800 CFm, y la demanda máxima de 2000 Cfm.

De esta manera, se tiene el consumo de aire por cada complejo considerando todas las actividades descritas anteriormente

Tabla 50. Consumo de Aire Comprimido en Complejos de Reducción

COMPLEJO	ACTIVIDADES	DEMANDA ACTUAL (Cfm)	DEMANDA MÁXIMA (Cfm)
I	Accionamiento de Cilindros	2297,68	4263,73
	Trasegado	356,75	713,51
	Celdas de Casco Rojo	315	315
	Accionamiento de Válvulas Pinch	520	520
	Fase Densa	4768	5400
	Sistema Flakt	1800	2000
Total de Consumo y Pérdidas (20%)		12068,916	15854,688
II	Accionamiento de Cilindros	2392,43	4263,73
	Trasegado	356,75	713,51
	Celdas de Casco Rojo	315	315
	Accionamiento de Válvulas Pinch	520	520
	Fase Densa	4768	5400
	Sistema Flakt	1800	2000
Total de Consumo y Pérdidas (20%)		12182,616	15854,688

Fuente. Autora

- **Sala de Colada:** Es la encargada de la fabricación de los productos terminados, contando para ello con una serie de equipos, que requieren de servicios como: agua, gas, electricidad y aire comprimido para su óptimo funcionamiento. Por tanto, como es de interés, el aire comprimido a continuación se nombran los equipos que utilizan el aire y su uso.

Tabla 51. Equipos que utilizan Aire Comprimido en Sala de Colada

EQUIPO	USO
Hornos de Retención (12)	Central de Mangueras
Máquina de Fundición Directa Vertical (2)	Central de Mangueras y Accionamiento de Instrumentos.
Máquinas de Fundición Continua para Lingotes de 20 kg	Accionamiento de eyector y estampado de lingotes. Apilador Neumático
Horno de Homogeneizado continuo	Instrumentación
Sierra de Plancha	Máquina de Estampar y atar planchas.
Sierra de Tochos	Máquina de Estampar y ata tochos
Máquinas Flejadoras (3)	Fleje de los bultos de lingotes

Fuente. Autora

En base, a lo señalado en la tabla, la cantidad de aire requerido de acuerdo, al estudio realizado sobre la actualización del sistema de aire comprimido, es de 296 Scfm y la demanda máxima de 1215 Scfm.

- **Mantenimiento Crisoles:** Ésta área, utiliza el aire para la limpieza de los sifones rectos y curvos. El consumo promedio de aire en ésta, de acuerdo al diseño original es de 275 Scfm y la demanda máxima de 690 Scfm.
- **Reparación de Transformadores:** Se encargan de la realización de actividades de mantenimiento de los equipos de alto voltaje instalados en planta, donde resulta necesario el uso de aire comprimido para el soplado de los transforectificadores, seccionador de DC/AC, transformadores de Celda 50F, fusegear 13,8 KV, motores sincrónicos, transformadores auxiliares de planta, cubículos de diodos, abanicos e interruptores

switchgear de 480V/AC. El consumo promedio de esta área de acuerdo al diseño es de 158 Scfm y la demanda máxima 525 Scfm.

- **Reacondicionamiento de Celdas:** Se encargan de limpiar, rectificar y reparar las celdas de las Salas de Celdas, así como del revestimiento de las mismas para volverlas a instalar en las Salas. Para realizar, tales actividades tienen instalados una serie de equipos que requieren de aire comprimido para su funcionamiento tales como: Compactadoras (19), Esmeril (6), Volcador (1), Vibrador (4) y un Precalentador; estos reciben el aire comprimido, saturado a temperatura del ambiente, a razón de 100 libras por pulgada cuadrada, a través, de conexiones de salida instaladas cada dos columnas en el lateral sur del edificio, y en conjunto consumen en promedio 2052 Scfm y la demanda máxima es de 2400 Scfm.

- **Talleres:** Se encargan de la reparación, mantenimiento y servicio de los equipos que así lo requieran, a fin, de garantizar su óptimo funcionamiento. Estos se encuentran distribuidos en toda planta, y requieren del aire comprimido, para realizar sus actividades, puesto que en su mayoría están provistos de equipos neumáticos, de esta manera se cuenta con los siguientes talleres:
 - ✓ **Taller automotriz:** Es el encargado de la reparación y mantenimiento de los equipos móviles existentes en planta, requiere del suministro de aire comprimido saturado a temperatura del ambiente, con una presión de 100 psi (6,89 bar) para limpieza, funcionamiento de instrumentos manuales (llaves de impacto, engrasadores de pistón, pistolas neumáticas, bomba de aceite, graseras), soplado de filtros y llenado de cauchos, por tanto, tiene instaladas 22 conexiones de mangueras, que permiten hacer el uso esporádico del aire, siendo el uso promedio del mismo, según el estudio realizado sobre revisión y actualización del

sistema de aire comprimido, a condiciones estándar de 342 Scfm y la demanda máxima de 870 scfm.

- ✓ **Taller de Instrumentos:** Se encarga de la reparación y calibración de los equipos eléctricos e instrumentos mecánicos, para ello, requiere de poca demanda de aire, usado para la limpieza de piezas, por tanto, el uso del aire no es continuo y la demanda es de 25 scfm.
- ✓ **Talleres de Mantenimiento:** Se encargan de la reparación y manutención de diversos equipos, se encuentran separados en función de los trabajos realizados en cada uno de ellos, sin embargo, ningún taller es autosuficiente, estos depende los unos de los otros en cuanto a la utilización de las herramientas y cooperación, así se tiene:
 - Taller de Soldadura: Encargado de efectuar soldadura de acero, aluminio y metales no ferrosos, así como de la cortadura por llama de gas y reparación de herramientas.
 - Taller de Fabricación liviana y Pesada: Realiza trabajos de cizallamiento, curvatura y laminación de hojas metálicas y placas, reparación de recipientes dañados, y fabricación de conductores de descarga, tapas y partes de celdas.
 - Taller de Forja y Tratamiento al Calor: Ejecuta trabajos de recocción de metales, templadura de acero, control de dureza, endurecimiento superficial, reparación de mechas de excavadoras, y de instrumentos de reacondicionamiento de Celdas.
 - Taller de Carpintería: En este se desarrollan trabajos de reparación de herramientas manuales, fabricación de moldes para reparación de crisoles y calderos de colada, y trabajos generales de carpintería.

- Taller Mecánico: Se realizan trabajos de montaje y desmontaje de equipos mecánicos; cambio, modificación, limpieza y desengrase de piezas; reparación de equipos hidráulicos de precisión, bombas y válvulas; sustitución de soportes y ensamble de mangueras.
- Taller Eléctrico: Se encarga de localizar y reparar averías de transmisión; fabricar conductos (livianos y pesados); roscar tubos de acero y reparar motores eléctricos.
- Taller de Máquinas: Ejecutan actividades de fabricación de piezas mecánicas y escobillas, modificación de piezas menores y mayores, torneado de conmutadores y afilan sierras.

Todos estos talleres de mantenimiento, reciben aire comprimido, usado para limpiar y accionar los diferentes equipos neumáticos (llaves de impacto, martillo de forja, cinceladores, cizallas, taladros y martillo neumáticos) que contribuyen con la realización del conjunto de actividades ya nombradas, realizadas por cada taller, al igual que las conexiones de mangueras, por tanto, el uso del aire comprimido para esta área, incluyendo las pérdidas es de 504 Scfm y la demanda máxima de 980 Scfm.

Ahora bien, una vez descrito cada una de las áreas que utilizan el aire comprimido, y su uso, se muestra una tabla general, a fin de conocer el consumo total de aire en planta, y un diagrama de Pareto para sectorizar las áreas que demandan más este servicio industrial y por ende, las que requieren de mayor atención, en pro de que en estas se realice correctamente el proceso productivo.

Tabla 52. Consumo Total de Aire Comprimido en Planta

ÁREA	CONSUMO PROMEDIO (Cfm)	CONSUMO MÁXIMO (Cfm)
Complejo de Reducción II	12182,616	15854,688
Complejo de Reducción I	12068,916	15854,688
Planta de Carbón	2118,00	4782,00
Reacondicionamiento de Celdas	2052,00	2400
Talleres	871,00	1850
Sala de Colada	296,00	1215
Mantenimiento Crisoles	275,00	690
Reparación de Transformadores	158,00	525
Total de Consumo (Cfm)	30021,53	43171,38

Fuente. Autora

Tabla 53. Distribución de Frecuencia del Consumo de Aire Comprimido en Planta

Áreas	Consumo Promedio(CFM)	Consumo Acum.	Acum.%
Complejo II	12182,62	12.182,62	40,58%
Complejo I	12068,92	24.251,53	80,78%
Planta de Carbón	2118	26.369,53	87,84%
Reacondicionamiento de Celdas	2052	28.421,53	94,67%
Talleres	871	29.292,53	97,57%
Sala de Colada	296	29.588,53	98,56%
Mantenimiento Crisoles	275	29.863,53	99,47%
Reparación de Transformadores	158	30.021,53	100%
Total	30021,53		

Fuente. Autora

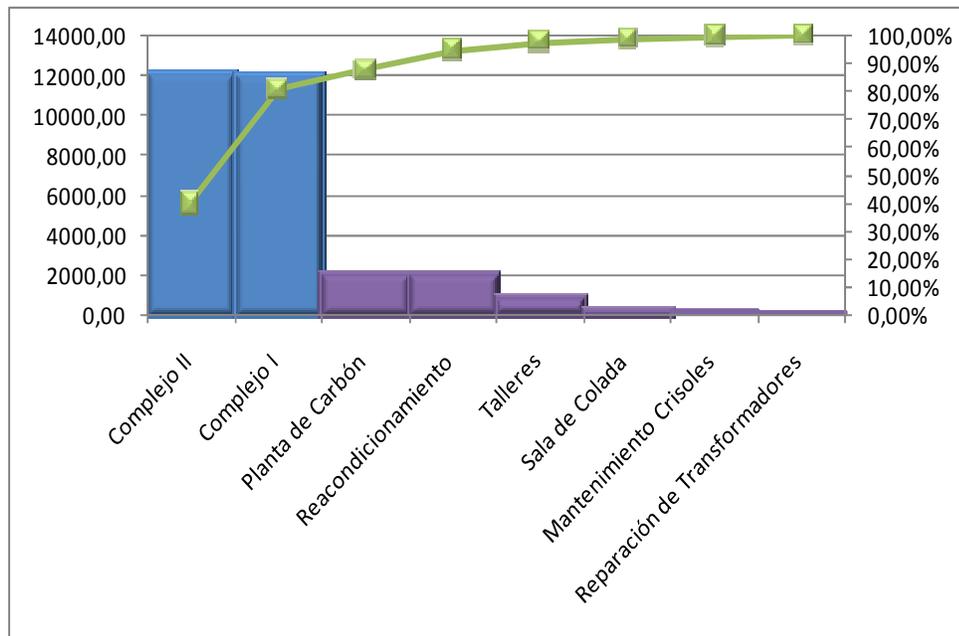


Figura 35. Diagrama de Pareto Consumo de Aire Comprimido de Unidades Usuarias en Planta

Fuente. Autora

En las tablas anteriores, y en el diagrama de Pareto se evidencia cada una de las unidades usuarias de aire en planta, notándose que los Complejos I y II, son los que representan el mayor consumo, pues en estos se encuentra el 80,78 % del consumo total, por tanto, son los que requieren de la mayor atención, y están representados en el diagrama de Pareto con el color azul (pocos vitales), mientras que en el resto de las áreas, se encuentra el 19,22% del consumo total, por ende, estas son los consumidores secundarios, simbolizadas en el diagrama de Pareto con el color morado (muchos triviales).

Por otro lado, es importante detallar del total del consumo de aire en planta, como se realiza la distribución del mismo a cada unidad usuaria, en función de cada una de las salas generadoras, donde Facilidad 18 es la encargada de suministrar el aire a Planta de Carbón, Sala de Colada, Talleres, Reacondicionamiento de Celdas, Mantenimiento de Crisoles, Reparación de

Transformadores y en los Complejos de Reducción, específicamente para la realización del trasegado y accionamiento de los cilindros rompecostras y dosificadores, así esta debe garantizar del total del consumo, el siguiente:

Tabla 54. Consumo de Aire Comprimido de Unidades Usuarias Abastecidas por Sala de Facilidad 18

ÁREA	CONSUMO ACTUAL (Cfm)	CONSUMO MÁXIMO (Cfm)
Trasegado y Accionamiento de Cilindros (Complejo II)	3299,02	5972,69
Trasegado y Accionamiento de Cilindros (Complejo I)	3185,32	5972,69
Planta de Carbón	2118,00	4782,00
Reacondicionamiento de Celdas	2052,00	3285,00
Talleres	871,00	2845,00
Sala de Colada	296,00	1484,00
Mantenimiento Crisoles	275,00	1093,00
Reparación de Transformadores	158,00	528,00
Total de Consumo	12254,33	25962,37

Fuente. Autora

Se resalta de la tabla anterior, que facilidad 18 debe garantizar 12254,33 Cfm, que representa del total del consumo en planta un 40,82 %, a su vez, comparándolo con la cantidad de aire generada por la sala actualmente (12982,34), se aprecia que están muy cerca los valores de generación y consumo, siendo la diferencia entre ambos de 728,04 cfm, lo que quiere decir, que el consumo con respecto a la generación representa el 94,39%,

Por su parte, las salas de compresores de Complejos I y II, se encargan de suministrar el aire para la realización de las actividades propias de cada complejo de reducción, siendo estas, transporte de los insumos a las celdas (Fase Densa), recuperación de alúmina (Sistema Flakt), celdas de casco rojo

y accionamiento de las válvulas pinch y 3 vías, de esta manera cada sala debe garantizar del total del consumo el siguiente:

Tabla 55. Consumo de Aire Comprimido de Unidades Usuarias Abastecidas por Sala de Complejos de Reducción

ACTIVIDADES	DEMANDA ACTUAL (Cfm)	DEMANDA MÁXIMA (Cfm)
Celdas de Casco Rojo	315,00	315,00
Accionamiento de Válvulas Pinch	520,00	520,00
Fase Densa	4768	5400
Sistema Flakt	1800	2000
Total de Consumo y Pérdidas (20%)	8883,60	9882,00

Fuente. Autora

Se evidencia, que tanto la sala de complejo I como la de complejo II, deben garantizar un suministro de 8883,60 Cfm, que representa del consumo total un 29,59%. Por su parte, para el caso de la sala de complejo I, al comparar la demanda del servicio por parte de las unidades usuarias con la generación de aire en la sala (8191,94 Cfm), se tiene que se requiere mayor cantidad de aire que la generada, es decir, se produce 8,44 % menos de lo requerido, de allí los problemas de baja presión inesperada y suspensión de actividades, por lo que se requiere, el apoyo de la sala de Facilidad 18. Por el contrario, en la sala de complejo II, el consumo en teoría está por debajo de la generación (9830,88 Cfm), por tan solo 947,28 Cfm, que representan 9,63% de la generación actual.

En consecuencia, de lo anteriormente señalado respecto a la generación de aire por sala y la demanda por cada una de las unidades usuarias se muestra un esquema con la distribución de aire y a la vez en el Anexo 6 se muestra el Plano de distribución de aire con cada una de las unidades usuarias y las salas generadoras de aire.

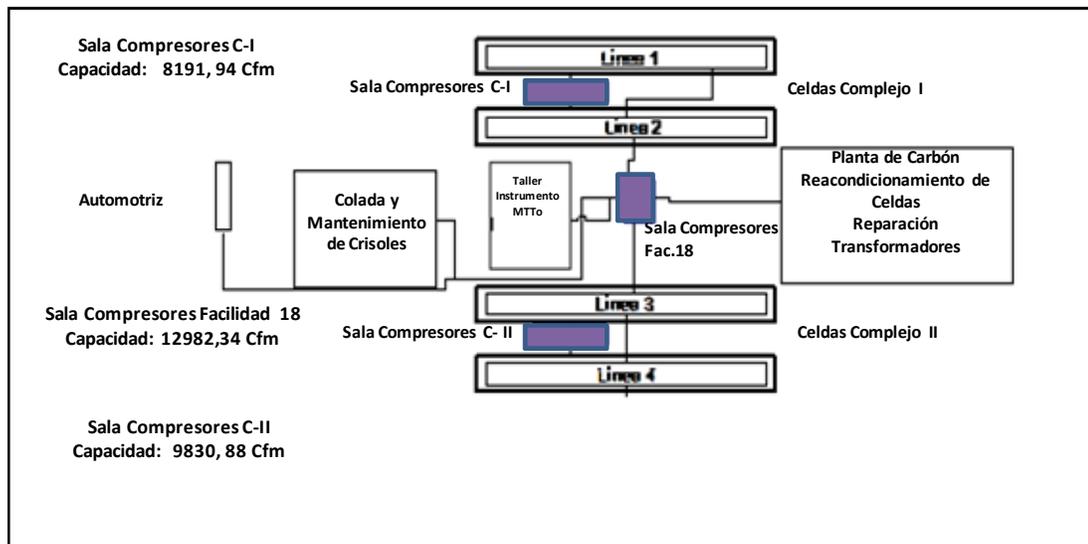


Figura 36. Distribución de Aire Comprimido Actual en Planta
Fuente. Autora

5. ESTUDIO TÉCNICO DE LA ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Dadas las condiciones del sistema de aire comprimido, se considera necesario realizar una evaluación técnica, que conlleve al mejoramiento de las salas, y con ello a la optimización del sistema. Por consiguiente, a continuación se describirán cada uno de los componentes de las alternativas que se plantean, a fin de ser comparadas con la de mantener el sistema en las condiciones actuales de funcionamiento como se describió en el capítulo V.

5.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA ASOCIADA AL MEJORAMIENTO DE CADA UNA DE LAS SALAS GENERADORAS DE AIRE

Esta alternativa, consiste en mantener los equipos que actualmente están operativos en cada una de las salas generadoras de aire, colocar en funcionamiento los que se encuentran fuera de servicio, mediante la

reparación de los mismos, con la adquisición e instalación de las piezas dañadas, y mejorar las condiciones ambientales que afectan el óptimo funcionamiento de los equipos. Se plantea, considerando las fallas en el sistema de generación actual, que ocasionan problemas con la realización de las actividades que requieren del suministro de este servicio industrial, por tanto, con ella se busca:

- Suministrar aire en mayor cantidad, calidad y oportunidad, con una generación de aire aproximada por sala de: 15200 Cfm para Facilidad 18, 14650 Cfm para Complejo I y 13500 Cfm para Complejo II, así se garantizará un total de 43350 Cfm.
- Mantener las Presiones óptimas de trabajo, requeridas por cada unidad usuaria desde los 3 hasta los 8 bar.
- Reducir la presencia de agentes contaminantes en el aire que ingresa a los equipos para su compresión, en facilidad 18 el polvillo de coque de petróleo, y en los complejos de reducción, donde prevalece la presencia de partículas de alúmina y gases de fluoruro, de esta manera, evitar en gran medida el desgaste de los elementos de compresión, así como la formación del ácido de fluoruro que perfora los serpentines, y provoca fugas de agua en el sistema de enfriamiento.
- Aumentar la disponibilidad de los equipos, y con ello, la de la sala, puesto que se tendrán más equipos en funcionamiento, y de esta manera, un sistema más óptimo y confiable.
- Mejorar la calidad del aire generado en cada sala, mediante la reducción de humedad, con la puesta en marcha de todas las secadoras, y la

reducción de las partículas sólidas que ingresan al sistema, con la distribución de los filtros de alta eficiencia.

Por tanto, a continuación, se presentan cada uno de los equipos y/o piezas que se requieren adquirir para optimizar el funcionamiento de cada una de las salas.

5.1.1 Sala de Compresores Facilidad 18

Tabla 56. Descripción Técnica de Mejoras Sala Facilidad 18

EQUIPO	ACTIVIDAD	PIEZA	N° PARTE
Compresor de Pistón Ingersoll Rand (H8) Presión: Caudal:	Reparación	Cilindro Completo de Baja Presión 24.25"	XL1002413
		Pistón Compleo de Baja Presión 24.25"	1H13207
		vastago para piston de Baja Presión	1R18204
		Anillo para Pistón de baja Presión	12A18CB1213
		Cruceta Completa	1F69291P1
		Claza Tapa de la Cruceta	1F6930
		Biela	37928199
Chiller	Reparación	3 Válvulas Selenoides	EF23JX272
Filtro de Alta Eficiencia (Turbofil G.E. Plus 9024241234p Marca: Oterca)	Reemplazo	Capacidad de Retención de polvo de prueba mayor o igual a 1000 grs	1053

Fuente. Autora

5.1.2 Sala de Compresores Complejo I

Tabla 57. Descripción Técnica de Mejoras Sala Complejo I

EQUIPO	ACTIVIDAD	PIEZA	N° PARTE
Compresor de Tornillo GA-90- FF	Reparación	Elemento de Compresión de Aire	1616528880
Compresor de Tornillo GA-90- VSD- FF	Reparación	Elemento de Compresión de Aire	2989016300
Compresor ZR-5A (N°4)	Reparación	Elemento de Alta Presión	1616580381
		Motor Eléctrico	
		Elemento de Baja Presión	1616630581
Compresor ZR-450 (N° 5)	Reparación	Engranaje de Alta	1616623908
		Equipo Silenciador	2906049100
Filtro de Alta Eficiencia (Turbofil G.E. Plus 9024241234p Marca: Oterca)	Reemplazo	Capacidad de Retención de polvo de prueba mayor o igual a 1000 grs	1053

Fuente. Autora

5.1.3 Sala de Compresores Complejo II

Tabla 58. Descripción Técnica de Mejoras Sala Complejo II

EQUIPO	ACTIVIDAD	PIEZA	N° PARTE
Compresor de Tornillo GA-90- FF	Reparación	Elemento de Compresión de Aire	1616528880
Compresor de Tornillo GA-90- VSD- FF	Reparación	Elemento de Compresión de Aire	2989016300
Compresor ZA	Reparación	Elemento de Baja	1616630581
		Engranaje de Impulsión de Bomba de Aceite	2102076906
		Engranaje de Transmisión de Bomba de Aceite	2102077006
		Válvula de Admisión	18655789
Secadora Regrretiva	Adquisición	Modelo: HRS-750 - Potencia: 30 Hp	
Torre de Enfriamiento Ewk 324	Reparación	Serpentines (Conjunto de 3)	

Fuente. Autora

5.2 FACTIBILIDAD TÉCNICA ASOCIADA AL PROYECTO DE CENTRALIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

En esta alternativa, se plantea la adecuación tecnológica del sistema de aire comprimido, con la instalación de una estación compresora central provista de equipos completamente nuevos y de tecnología moderna, capaces de suministrar el requerimiento de aire en planta, cabe destacar que fue un proyecto propuesto desde el año 2004 por la Gerencia de Proyectos de CVG Venalum y actualmente se encuentra en ejecución, con un progreso físico acumulado de 42,61%, por tanto, a continuación se muestra el desglose general de las actividades y equipos que se requieren para la realización completa del proyecto:

Tabla 59. Descripción General del Proyecto de Adecuación Tecnológica de Centralización de Generación de Aire Comprimido

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	EMPRESAS	CANTIDAD
Ingeniería Básica y de Detalle	Involucra aspectos mecánicos, civiles y electricos	DYCA	1
Torres de Enfriamiento	Modelo: 240/3-SG-T; Serial: 457-04; Caudal: 386,4 m3/Hr	RODELCA	4
Compresores Centrifugos	Modelo: C110M3EHD (Centac); Categoría: C3000; Tamaño: 8,5m*4,5m*3,3m; Capacidad: 10000 Scfm	INGERSOLL-RAND	5
Facilidad Eléctrica	Modificaciones necesarias para el nuevo requerimiento	Constructores Occidentales, ENCO, OLAMARCA	1
Secadoras de Absorción	Modelo: HC-3; Caudal: 10000scfm; Temperatura de Secado: 100° F	INGERSOLL-RAND	5
Secadoras de Absorción	Modelo: ; caudal: 3800 Scfm	Atlas Copco	2
Tubería de Agua Enfriamiento	Reemplazo de la tubería de servicio actual	HERO, CA	1
Tubería de Aire		SERVINCA	1
Estructura Física (Incluye Ventilación)	Modificaciones necesarias de estructura física de la actual Facilidad 18	N/A	1
Sistema de Supervisión	Involucra software, fibra óptica y sistema supervisorio de equipos	N/A	1

Fuente. Gerencia de Proyectos de CVG Venalum

En virtud de lo anteriormente señalado, el proyecto brindará los siguientes beneficios:

- Incrementar la confiabilidad del sistema de aire comprimido en cantidad, calidad y oportunidad, garantizando los requerimientos del proceso productivo de CVG VENALUM
- Centralizar la producción de aire comprimido con una misma instalación y calidad.
- Disminuir los costos de operación y Mantenimiento.
- Reducir en un 76% el número de equipos operativos, y por ende en número de repuestos stock y no stock de almacén.
- Aumentar la capacidad de generación de aire, obteniendo un total de 71.088 SCFM, siendo la generada por la nueva sala 55. 544 Scfm y 15. 544Scfm por la sala compresora existente de V Línea.
- Disminuir el consumo de energía eléctrica y agua industrial.
- Eliminar las fugas en compresores y secadoras.
- Incrementar la vida útil de los equipos y herramientas neumáticos de planta.
- Disminuir las intervenciones de mantenimiento, y con ello la mano de obra requerida para operación y mantenimiento de los equipos de la sala.
- Proporcionar un sistema de control y supervisión del funcionamiento de cada compresor y equipos auxiliares.

De esta manera, existiría una sola sala generadora de aire y la distribución se realizaría de la siguiente manera a las unidades usuarias:

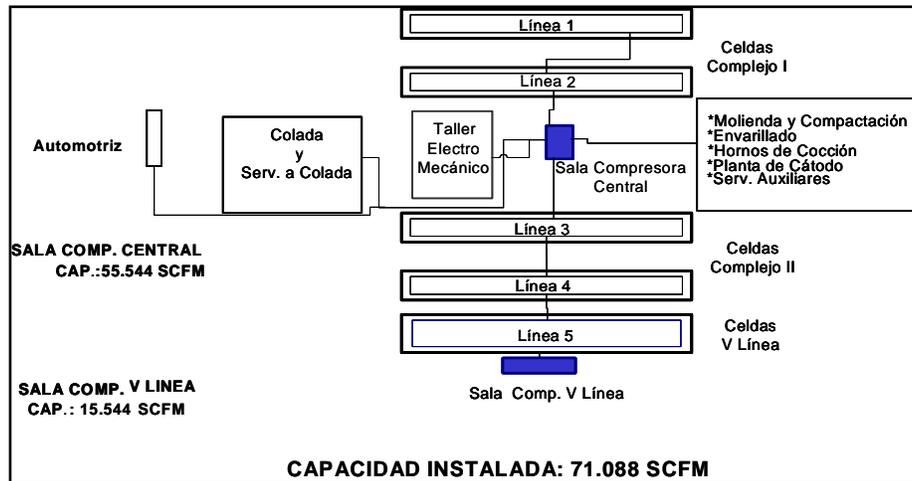


Figura 37. Distribución de Aire en Planta por Estación Compresora Central

Fuente. Gerencia de Proyectos

6. COSTOS ASOCIADOS A LAS ALTERNATIVAS A EVALUAR

Una vez definido el alcance, los requerimientos y contenido técnico de cada una de las alternativas propuestas para el mejoramiento del sistema de aire comprimido, al igual que la descripción de la situación actual, se presentará a continuación cada uno de los costos que se deben tomar en consideración para la realización de la evaluación económica.

6.1 COSTOS ASOCIADOS A LA SITUACIÓN ACTUAL

Los costos involucrados, con la alternativa de mantener el sistema como se encuentra actualmente, son:

- Costos de instalación de cada sala: Referentes al valor de reposición de cada una de las salas generadoras de aire, fueron calculados tomando como base los costos históricos de cada uno de los equipos que integran

las salas, aplicando la tasa cambiaria de ese momento y actualizándolos con el factor de utilización basado en la tasa interanual de estados unidos, modelo usado por la Superintendencia de Ingeniería Industrial en CVG Alcasa, Ver Anexo 7, estos valores se mostraran en tablas para cada sala con los equipos que la integran y la fecha de adquisición de los mismos.

- Costos de Operación y Mantenimiento de los Equipos: Se refieren a los costos de mano de obra, energía eléctrica, insumos (aceites), repuestos y materiales.
- ✓ Mano de Obra: Se cuenta con personal del Departamento de Mantenimiento de Sistemas Industriales, encargados de realizar los mantenimiento correctivos, rutinarios, programados y preventivos a los equipos que integran cada sala, el costo de este personal se ve reflejado en los costos de materiales y repuestos que serán mostrados en tablas, y con el personal del Departamento de Operaciones de Sistemas Industriales, encargados de controlar y operar manual y/o automáticamente los equipos que integran el sistema de aire comprimido, para lo cual, cuentan con un operador por cada sala, en cada uno de los tres turnos de trabajo, es decir, tres operadores al día, devengando cada uno un salario promedio de 4.269,4 Bs al mes, por tanto, al año son 153.698,4 Bs.
- ✓ Energía Eléctrica: Se obtuvo el consumo de energía eléctrica para cada sala, utilizando la siguiente formula de tarifa de energía eléctrica usada por la empresa:

$$\text{Precio (US$/KWh)} = \frac{\%P * \text{LME(US\$ / ton)}}{E}$$

%P = Participación de la electricidad en el precio del aluminio. (15%)

LME = Es el precio CASH por tonelada del aluminio promedio mensual del mes objeto de la facturación, en el London Metal Exchange. Para el mes de Junio de 2011 es de 2540 US\$ / ton.

E = Es el consumo específico (15 000 KWh/ton)

Así sustituyendo en la fórmula se obtiene el precio por cada KWh consumido:

$$\text{Precio (US$/KWh)} = \frac{0,15 * 2540\$/\text{ton}}{15\ 000\ \text{KWh}/\text{ton}} = 0,0254\ \text{US}/\text{KWh}$$

Considerando la Tasa de Cambio Promedio del mes (Bs./US\$):4,30Bs. /US\$, se obtiene:

$$\text{Precio} \left(\frac{\text{Bs}}{\text{KWh}} \right) = \text{Precio} * \text{Tasa de Cambio Promedio del mes}$$

$$\text{Precio}(\text{Bs}/\text{KWh}) = 0,0254 \frac{\text{US\$}}{\text{KWh}} * 4,30\ \text{Bs}/\text{US\$} = 0,10922\ \text{Bs}/\text{KWh}$$

Este valor fue multiplicado por el consumo total de kilovatios por hora demandado por cada sala, y así se obtuvo la cantidad de dinero debitada al año por concepto de energía eléctrica, para detalle de consumos por cada equipo por sala ver Apéndice F.

- ✓ Insumos: Estos equipos son lubricados con aceites, que varían en función del compresor y la pieza a lubricar, son usados:
 - Aceite RARUS 827: Usado en facilidad 18 en los compresores Ingersoll Rand, para la bomba de lubricación forzada, se consumen en promedio 2 barriles al mes, y cada uno tiene un costo de 15.050 Bs,

por lo tanto, al año son usados 24 barriles, y el costo anual por adquisición de los mismos es de 361.200 Bs.

- Aceite Compresorlub100: Utilizado en los Compresores Ingersoll Rand, para lubricación del carter, se consumen en promedio 4 barriles al año, el costo de cada uno de estos es de 1.600 Bs, para un total al año de 6.400 Bs.
- Aceite Turbina 68: Aplicado en los compresores ZR-5A, ZR-450 y ZA-5A para lubricación del motor, se utilizan en promedio 5 barriles al año, y el precio de cada uno es de 2.600 Bs, por tanto, el costo anual es de 13.000 Bs.

En tal sentido, a continuación se muestra las tablas resumen para la Sala de Facilidad 18, Complejo I y II, con cada uno de los costos antes mencionados, no obstante para observar el cálculo detallado de los valores de reposición de equipos de cada sala, Ver Apéndice G

6.1.1 Costos Relacionados a la Sala de Facilidad 18

Tabla 60. Costos de Equipos Actuales Sala Facilidad 18

Equipo	Fecha de Adquisición	Costo Histórico	Cantidad	Total
Compresor Ingersoll Rand	30/09/1979	482,68	8	3.861,44
Filtro de Aire compresor		18,38	8	147,04
Tanque de Compresor		23,37	8	186,96
Torre de Enfriamiento		90,92	1	90,92
Bomba para Torre de Enfriamiento		27,78	2	55,56
Compresor ZR-450	05/12/2002	551.398,40	1	551.398,40
Compresor ZR-450	30/10/2004	835.584,00	1	835.584,00
Total Costo Sala de Facilidad 18 =				1.391.324,32
Total Costo de Reposición de Sala de Facilidad 18 =				11.451.321,15

Fuente. Autora

Tabla 61. Costos de Operación Y Mantenimiento Sala Facilidad 18

COSTOS DE MANTENIMIENTO (Materiales, Repuestos y Mano de Obra del Personal del Departamento de Sistemas Industriales)	
Concepto	BS/Año
Mantenimiento Preventivo	23.235,14
Mantenimiento Programado	51.493,23
Mantenimiento Rutina	161.735,69
Mantenimiento Correctivo	114.886,80
TOTAL (Enero- Mayo 2011)	351.350,86
TOTAL ESTIMADO	843.242,06
COSTOS DE OPERACIONES	
Concepto	BS/Año
Operador de Sala	153.698,40
Consumo de Energía Eléctrica	2.759.297,47
Consumo de Aceites Lubricantes (Rarus 827 y Compresorlub 100)	367.600,00
TOTAL	3.280.595,87
TOTAL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	4.123.837,93

Fuente. Autora

6.1.2 Costos Relacionados a la Sala de Complejo I

Tabla 62. Costos de Equipos Actuales Sala Complejo I

Equipo	Fecha de Adquisición	Costo Histórico	Cantidad	Total
Compresor ZR-5A	31/12/1989	10.344,86	4	41.379,44
Compresor ZA		8.367,44	2	16.734,88
Tanque tipo tac-2500 (50 psig)	31/12/1989	1.117,11	3	3.351,33
Torre de Enfriamiento 324/09	31/05/1991	2.037,41	2	4.074,82
Torre de Enfriamiento 441/09.	31/05/1991	2.162,08	4	8.648,32
Compresor GA	30/10/1997	7.282,57	2	14.565,14
Secadora fd 210		21.692,77	2	43.385,54
Secadora Atlas Copco m-fd-1600w	30/06/1999	24.137,28	2	48.274,56
Sistema de Presurización	31/12/2000	128.444,12	1	128.444,12
Compresor ZR-450	05/12/2002	551.398,40	1	551.398,40
Compresor ZR-450	30/10/2004	835.584,00	1	835.584,00
Total Costo Sala de Facilidad 18 =				1.695.840,55
Total Costo de Reposición de Sala de Facilidad 18 =				17.122.440,51

Fuente. Autora

Tabla 63. Costos de Operación Y Mantenimiento Sala Complejo I

COSTOS DE MANTENIMIENTO (MATERIALES, REPUESTOS Y MO DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS INDUSTRIALES	
Concepto	BS/Año
Mantenimiento Preventivo	0,00
Mantenimiento Programado	138.244,76
Mantenimiento Rutina	282.200,13
Mantenimiento Correctivo	4.891,58
TOTAL (Enero- Mayo 2011)	425.336,47
TOTAL ESTIMADO	1.020.807,53
COSTOS DE OPERACIONES	
Concepto	BS/Año
Operador de Sala	153.698,40
Consumo de Energía Eléctrica	1.894.858,30
Consumo de Aceites Lubricantes (Turbina 68)	13.000,00
TOTAL COSTO DE OPERACIONES	2.061.556,70
TOTAL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	3.082.364,23

Fuente. Autora

6.1.3 Costos Relacionados a la Sala de Complejo II

Tabla 64. Costos de Equipos Actuales Sala Complejo II

Equipo	Fecha de Adquisición	Costo Histórico	Cantidad	Total
Compresor ZR-5A	31/12/1989	10.344,86	4	41.379,44
Compresor ZA		8.367,44	2	16.734,88
Tanque Tipo Tac-2500 (50 psig)	31/12/1989	1.117,11	3	3.351,33
Torre de Enfriamiento 324/09	31/05/1991	2.037,41	2	4.074,82
Torre de Enfriamiento 441/09.	31/05/1991	2.162,08	4	8.648,32
Compresor GA	30/12/1995	6615,99	2	13.231,98
Secadora fd 210	30/10/1997	21.692,77	2	43.385,54
Secadora Atlas Copco m-fd-1600w	30/06/1999	24.137,28	2	48.274,56
Sistema de Presurización	31/12/2000	128.444,12	1	128.444,12
Total Costo Sala de Complejo II =				307.524,99
Total Costo de Reposición de Sala de Complejo II =				12.753.756,23

Fuente. Autora

Tabla 65. Costos de Operación Y Mantenimiento Sala Complejo II

COSTOS DE MANTENIMIENTO (MATERIALES, REPUESTOS Y MO DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS INDUSTRIALES	
Concepto	BS/Año
Mantenimiento Preventivo	0,00
Mantenimiento Programado	100.155,74
Mantenimiento Rutina	293.588,56
Mantenimiento Correctivo	30.213,11
TOTAL (Enero- Mayo 2011)	423.957,41
TOTAL ESTIMADO	1.017.497,78
COSTOS DE OPERACIONES	
Concepto	BS/Año
Operador de Sala	153.698,40
Consumo de Energía Eléctrica	2.336.750,80
Consumo de Aceites Lubricantes (Turbina 68)	13.000,00
TOTAL COSTO DE OPERACIONES	2.503.449,20
TOTAL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	3.520.946,99

Fuente. Autora

De esta manera una vez detallado los costos para cada una de las salas, se muestra a continuación la tabla que contempla la sumatoria de ambas salas para costos de equipos y operación y mantenimiento:

Tabla 66. Costos Totales Reposición de Equipos Alternativa A (Situación Actual)

Sala	Costo de Reposición (Bs)
Facilidad 18	11.451.321,15
Complejo I	17.122.440,51
Complejo II	12.753.756,23
Total	41.327.517,89

Fuente. Apéndice G

**Tabla 67. Costos Totales Operación y Mantenimiento Equipos Alternativa A
(Situación Actual)**

Costos de Mantenimiento Y Operaciones	
Sala	Costo (Bs)
Facilidad 18	4.123.837,93
Complejo I	3.082.364,23
Complejo II	3.520.946,99
Total	10.727.149,15

Fuente. Autora

6.2 COSTOS ASOCIADOS A LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE CADA UNA DE LAS SALAS GENERADORAS DE AIRE ACTUALES

Los costos asociados, a esta alternativa, son costos de la situación actual en cuanto al valor de reposición de las salas más los costos de cada una de las mejoras mostradas en el aspecto técnico, y los costos de operación y mantenimiento, considerándose para ello las mismas premisas que para la situación actual, para cálculo de mantenimiento de los equipos, mano de obra, consumo de energía eléctrica (Ver Apéndice F) y el consumo de aceites, se le adiciona el aceite Hidráulico 68, usado para los compresores GA, con un consumo anual de dos barriles para cada complejo (4.800 Bs), así se tiene:

6.2.1 Costos Relacionados a Mejoramiento de la Sala de Facilidad 18

Tabla 68. Costos de Mejoramiento Sala Facilidad 18

EQUIPO	ACTIVIDAD	PIEZA	N° PARTE	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO UNITARIO (Bs)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (Bs)
Compresor de Pistón Ingersoll Rand (H8)	Reparación	Cilindro Completo de Baja Presión 24.25"	XL1002413	17.157,00	73.775,10	1	73.775,10
		Pistón Compleo de Baja Presión 24.25"	1H13207	13.223,00	56.858,90	1	56.858,90
		vastago para piston de Baja Presión	1R18204	3.920,00	16.856,00	1	16.856,00
		Anillo para Pistón de baja Presión	12A18CB1213	588,00	2.528,40	1	2.528,40
		Cruceta Completa	1F69291P1	31.332,00	134.727,60	1	134.727,60
		Claza Tapa de la Cruceta	1F6930	10.346,00	44.487,80	1	44.487,80
		Biela	37928199	21.120,00	90.816,00	1	90.816,00
Chiller	Reparación	3 Válvulas Selenoides	EF23JX272	444,00	1.909,20	3	5.727,60
Filtro de Alta Eficiencia (Turbofil G.E. Plus 9024241234p Marca: Oterca)	Reemplazo	Capacidad de Retención de polvo de prueba mayor o igual a 1000 grs	1053	195,00	838,50	2	1.677,00
Total Costos de Mejoras							427.454,40
Costo de Reposición de la Sala (Equipos en funcionamiento Actualmente)							11.451.321,15
TOTAL INVERSIÓN MEJORAS							11.878.775,55
PARIDAD CAMBIARIA: 4,30 Bs/US\$							

Fuente. Autora

Tabla 69. Costos de Operación Y Mantenimiento Mejoras Sala Facilidad 18

COSTOS DE MANTENIMIENTO	
Concepto	BS/Año
Materiales, Repuestos y Mano de Obra del Personal del Departamento de Sistemas Industriales	843.242,06
COSTOS DE OPERACIONES	
Concepto	BS/Año
Operador de Sala	153.698,40
Consumo de Energía Eléctrica	3.232.418,85
Consumo de Aceites Lubricantes (Rarus 827 y Compresorlub 100)	372.400,00
TOTAL	3.758.517,25
TOTAL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	4.601.759,31

Fuente. Autora

6.2.2 Costos Relacionados a Mejoramiento de la Sala de Complejo I

Tabla 70. Costos de Mejoramiento Sala Complejo I

EQUIPO	ACTIVIDAD	PIEZA	N° PARTE	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO UNITARIO (Bs)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (Bs)
Compresor de Tornillo GA-90- FF	Reparación	Elemento de Compresión de Aire	1616528880	19.200,00	82.560,00	1	82.560,00
Compresor de Tornillo GA-90- VSD- FF	Reparación	Elemento de Compresión de Aire	2989016300	24.000,00	103.200,00	1	103.200,00
Compresor ZR-5A (N°4)	Reparación	Elemento de Alta Presión	1616580381	34.980,00	150.414,00	1	150.414,00
		Motor Eléctrico		79.000,00	339.700,00	1	339.700,00
		Elemento de Baja Presión	1616630581	69.500,00	298.850,00	1	298.850,00
Compresor ZR-450 (N° 5)	Reparación	Engranaje de Alta	1616623908	6.440,00	27.692,00	1	27.692,00
		Equipo Silenciador	2906049100	4.200,00	18.060,00	1	18.060,00
Filtro de Alta Eficiencia (Turbofil G.E. Plus 9024241234p Marca: Oterca)	Reemplazo	Capacidad de Retención de polvo de prueba mayor o igual a 1000 grs	1053	195,00	838,50	5	4.192,50
Total Costos de Mejoras							1.024.668,50
Costo de Reposición de la Sala (Equipos en funcionamiento Actualmente)							17.122.440,51
TOTAL INVERSIÓN							18.147.109,01

PARIDAD CAMBIARIA: 4,30 Bs/US\$

Fuente. Autora

Tabla 71. Costos de Operación Y Mantenimiento Mejoras Sala Complejo I

COSTOS DE MANTENIMIENTO	
Concepto	BS/Año
Materiales, Repuestos y Mano de Obra del Personal del Departamento de Sistemas Industriales	1.020.807,53
COSTOS DE OPERACIONES	
Concepto	BS/Año
Operador de Sala	153.698,40
Consumo de Energía Eléctrica	3.025.948,49
Consumo de Aceites Lubricantes (Rarus 827 y Compresorlub 100)	372.400,00
TOTAL	3.552.046,89
TOTAL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	4.572.854,42

Fuente. Autora

6.2.3 Costos Relacionados a Mejoramiento de la Sala de Complejo II

Tabla 72. Costos de Mejoramiento Sala Complejo II

EQUIPO	ACTIVIDAD	PIEZA	N° PARTE	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO UNITARIO (Bs)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (Bs)
Compresor de Tornillo GA-90- FF	Reparación	Elemento de Compresión de Aire	1616528880	19.200,00	82.560,00	1	82.560,00
Compresor de Tornillo GA-90- VSD- FF	Reparación	Elemento de Compresión de Aire	2989016300	24.000,00	103.200,00	1	103.200,00
Compresor ZA	Reparación	Elemento de Baja	1616630581	69.500,00	298.850,00	1	298.850,00
		Engranaje de Impulsión de Bomba de Aceite	2102076906	9.000,00	38.700,00	1	38.700,00
		Engranaje de Transmisión de Bomba de Aceite	2102077006	8.200,00	35.260,00	1	35.260,00
		Válvula de Admisión		3.200,00	13.760,00	1	13.760,00
Secadora Regriritiva	Adquisición	Modelo: HRS-750 - Potencia: 30 Hp		19.467,00	83.708,10	1	83.708,10
Torre de Enfriamiento Ewk 324	Reparación	Serpentines (Conjunto de 3)		17.012,73	73.154,74	1	73.154,74
Total Costos de Mejoras							729.192,84
Costo de Reposición de la Sala (Equipos en funcionamiento Actualmente)							12.753.756,23
TOTAL INVERSIÓN MEJORAS							13.482.949,07

PARIDAD CAMBIARIA: 4,30 Bs/US\$

Fuente. Autora

Tabla 73. Costos de Operación Y Mantenimiento Mejoras Sala Complejo II

COSTOS DE MANTENIMIENTO	
Concepto	BS/Año
Materiales, Repuestos y Mano de Obra del Personal del Departamento de Sistemas Industriales	1.017.497,78
COSTOS DE OPERACIONES	
Concepto	BS/Año
Operador de Sala	153.698,40
Consumo de Energía Eléctrica	2.767.774,43
Consumo de Aceites Lubricantes (Rarus 827 y Compresorlub 100)	372.400,00
TOTAL	3.293.872,83
TOTAL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	4.311.370,61

Fuente. Autora

Así, se tiene la tabla resumen que considera los valores de reposición y mejoramiento de las tres salas generadoras de aire actuales, y los costos de operación y mantenimiento de todas estas en conjunto:

**Tabla 74. Costos de Reposición y Mejoras de Equipos Alternativa B
(Mejoramiento de las 3 Salas Generadoras de Aire Comprimido)**

Sala	Costo Mejoras (Bs)	Costo Reposición (Bs)	Costo Total (Bs)
Facilidad 18	427.454,40	11.451.321,15	11.878.775,55
Complejo I	1.024.668,50	17.122.440,51	18.147.109,01
Complejo II	729.192,84	12.753.756,23	13.482.949,07
Total	2.181.315,74	41.327.517,89	43.508.833,63

Fuente. Autora

**Tabla 75. Costos de Operación y Mantenimiento de Equipos Alternativa B
(Mejoramiento de las 3 Salas Generadoras de Aire Comprimido)**

Costos de Operación y Mantenimiento	
Sala	Costo (Bs)
Facilidad 18	4.601.759,31
Complejo I	4.572.854,42
Complejo II	4.311.370,61
Total (2011)	13.485.984,34

Fuente. Autora

6.3 COSTOS ASOCIADOS AL PROYECTO DE CENTRALIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Los costos asociados a este proyecto, incluyen una gran gama de actividades como se describió en el aspecto técnico, resaltando que parte de las mismas ya fueron ejecutadas, debido a que el proyecto inicio en el año 2004, por tanto, se detallaran los costos de las actividades que fueron realizadas, y las que quedan por realizar, siendo estas últimas las que se consideraran como inversión inicial para culminación del proyecto, y efectos de la evaluación económica.

Tabla 76. Costos Ejecutados del Proyecto de Centralización de Generación de Aire Comprimido (2004-2009)

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	EMPRESA	Costo (Bs)
Ingeniería Básica y de Detalle	Involucra aspectos mecánicos, civiles y electricos	DYCA	298.574,69
Equipos	Torres de Enfriamiento	RODELCA	1.936.168,67
	Compresores Centrifugos	INGERSOLL-RAND	7.686.792,00
	filtro Quimico	INGERSOLL-RAND	626.400,00
	Placa de Enfriamiento	INGERSOLL-RAND	1.140.480,00
	secadoras de Absorción	INGERSOLL-RAND	2.427.494,40
Tubería de Agua de Enfriamiento	Placa-Intercambiador	HERO, CA	532.712,94
Tubería de Aire	Instalación tubería aerea desde Facilidad 18 a los Complejos I y II	SERVINCA	999.582,07
Facilidad Eléctrica	Detalles y Acondicionamiento	Constructores Occidentales	3.463.569,18
Total Costos (Actividades Ejecutadas)			19.111.773,95

Fuente. Gerencia de Proyectos de CVG Venalum

**Tabla 77. Costos Inversión Culminación de Proyecto Centralización de Aire
Comprimido**

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	EMPRESA	Costo (Bs)
Equipos	Adquisición de dos Secadoras de absorción de 3800 Scfm	ATLAS COPCO	317.254,00
Facilidad Eléctrica	Construcción Sistema de Canalizaciones	Construcciones y Servicios D.Y.N.M, C.A	130.354,68
	Construcción de Bancadas Interiores y ampliación civil y eléctrica de Fac.18	VEMCO	521.639,01
	Acondicionamiento de Celdas AA6 y B3 a 13,8 Kv	SIEMENS	59.585,25
	Suministro e Instalación de Transformadores, CDP-13,8 Kv, CCMS y Tablero de 125 Vcc	CAIVET	1.505.688,00
	Suministro e Instalación de Tableros	SCHNEIDER ELECTRIC	2.486.764,24
	Acondicionamiento de Servicios Auxiliares Subestación Eléctrica	HOE, CA	213.592,11
Estructura Física	Losas, fundaciones de piso , laminas de techo, suministro e instalación de aire acondicionado	CONSPIIMANCA, AB de Venezuela, ARM CA	3.522.277,60
Sistema Supervisión	Software, fibra óptica de complejos, sistema supervisorio de equipos	N/A	3.200.000,00
Otros	Instalación mecánica y civil adecuación Facilidad 18	COOPERT. LASER FY	255.327,62
	Dos Motores de Inducción Trifásico de 447 KW	INVERSIONES EUROAMERICA	455.188,00
	Cables de media y baja tensión	VEMCO	1.934.546,37
	Suministro e Instalación de tuberías, válvulas del sistema de drenaje	CONSTRUCTORES DIAZA	118.299,39
	Suministro de láminas, electrodos y bridas de acero inoxidable	EXPORTACIONES AMÉRICA	342.806,75
	Fabricación e Instalación de puentes tuberías de aire comprimido	ORLAMARCA 253, R.L	787.742,39
	Desmontaje de Compresores y Secadoras	N/A	3.078.874,00
	Suministro e Instalación de Transformadores y Cableado	N/A	946.564,00
	Suministro e instalación de ducto de aspiración de aire de acero	N/A	656.331,61
	Instalación ductos inoxidables	N/A	425.917,23
	Suministro de rejilla electroforjada	N/A	102.627,04
	Suministro e instalación de cables y copas térmicas (Compresores Ingersoll Rand)	N/A	756.489,63
	Instalación y Puesta en marcha de compresores Ingersoll rand	INGERSOLL RAND	11.890.016,00
	TOTAL COSTOS (Actividades por Ejecutar)		

N/ A= No asignada y corresponde a actividades que están en procura y los costos son estimados de la Gerencia de Proyectos de CVG Venalum

Fuente. Gerencia de Proyectos de CVG Venalum

Por otro lado, los costos de operación y mantenimiento, se obtuvieron considerando para los de mantenimiento el 5 % de la inversión inicial, los de operaciones en base al salario mensual de los 3 operadores requeridos para la supervisión y control de la sala y el consumo de energía eléctrica, considerando el valor estimado por la gerencia de proyectos, consumidos por los 32 equipos (69.090.115 kWh por año) y el costo de 0,10922 Bs/KWh así se tiene:

Tabla 78. Costos de Operación y Mantenimiento Proyecto Centralización de Generación de Aire Comprimido

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
Concepto	BS/Año
Costos de Mantenimiento (5% de Inversión Inicial)	1.685.394,25
Costo de Operadores de Equipos	153.698,40
Consumo de Energía Eléctrica	7.109.142,36
TOTAL COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	8.948.235,01

Fuente. Autora

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Una vez definido el alcance, los requerimientos, el contenido técnico y los costos asociados a las alternativas planteadas sobre mantener la situación actual (A), mejoramiento de las salas generadoras de aire existentes (B) y proyecto de centralización de generación de aire (C) en CVG Venalum, se efectúa la evaluación económica de las mismas, considerando para ello:

- La vida útil de los equipos, en el caso de las alternativas A y B, fue considerado cinco años, como una reestimación de la vida útil producto del mantenimiento y la repotenciación de los equipos, y para la alternativa C fue considerado 15 años, es decir, vida útil promedio de los equipos nuevos.

- El costo de la inversión, para las alternativas A y B, se consideró la inversión como la sumatoria de cada uno de los costos de las tres salas que integran el sistema, en el caso de la alternativa A la sumatoria de los tres valores de reposición de cada sala, para la alternativa B los costos de reposición de las tres salas más los costos de mejoras de las tres salas, y en la alternativa C, el costo de inversión para culminación de proyecto de centralización de aire, tal como se mostraron en las tablas N° 66, 74 y 77 de costos asociados a cada alternativa.

- Los costos de operación y mantenimiento, también fueron considerados como sumatoria de los devengados por cada una de las salas como se evidenciaron en las tablas N° 67, 75 y 78. No obstante, estos van aumentando progresivamente de acuerdo a la tasa promedio anual de inflación, la cual fue calculada tomando como referencia los datos cronológicos de la inflación en Venezuela desde el 2000 hasta el 2010, y los pronosticados para el cierre de 2011 y 2012, registrados por el BCV que es de 1,5%. (Ver apéndice H).

- En los tres flujos de caja, se consideró el año cero el 2011, por tanto, los costos de operación y mantenimiento comienzan a devengarse en el 2012, así, para las alternativas A y B se comprende del 2011 hasta el 2016 y para la alternativa C del 2011 hasta el 2026, (Ver Apéndice I).

- Los índices calculados para el análisis fueron costo anual uniforme y valor presente neto. (Ver Apéndice I) .

- La tasa de interés considerada es del 12%, la cual es la establecida por políticas de la empresa CVG Venalum para evaluación de proyectos.

De esta manera, consideradas las premisas antes señaladas y efectuados los cálculos se obtiene el resumen en la tabla 79

Tabla 79. Resumen Índices de Rentabilidad

ALTERNATIVA	VALOR ANUAL (Bs)	VALOR PRESENTE (Bs)
A	22.646.684,94	154.243.346,60
B	26.127.623,48	177.951.550,70
C	14.603.237,63	99.463.544,67
Nota: A= Situación Actual; B= Mejoramiento de Salas Existentes; C= Proyecto de Centralización de Generación de Aire		

Fuente. Apéndice I. Evaluación Económica

En la tabla anterior se evidencia, los dos métodos usados para seleccionar la alternativa más conveniente, donde es notorio que la más beneficiosa es la alternativa C, es decir, la culminación del proyecto de centralización de aire, ya que se busca minimizar los costos, y esta es la que representa el menor VPN (99.463.544,67 Bs) y VA (14.603.237,63 Bs) entre los proyectos comparados.

Además, al ser comparada con la alternativa B se obtiene un ahorro en una serie uniforme de pagos de 11.524.385,85 Bs y del VPN 78.488.006,03 Bs, lo que indica un 44,10%; con respecto a la comparación con la alternativa A, el ahorro representa un 35,52%, reflejado en el VA con 8.043.447,31 Bs menos y en el VPN 54.779.801,93 Bs.

CONCLUSIONES

Una vez realizada la investigación y evaluadas las salas generadoras de aire de Facilidad 18 y Complejos de Reducción I y II se concluye lo siguiente:

1. El sistema de aire comprimido en cada una de las salas generadoras de aire, está constituido por el compresor, filtro del compresor, post-enfriador, receptores de aire, secadoras, torres de enfriamiento y áreas de trabajo.
2. El deterioro y la disminución del óptimo funcionamiento de la Sala de Compresores de Facilidad 18 se debe a la avería de los equipos, vencimiento de la vida útil, sobreutilización de los mismos y falta de repuestos; y en las Salas de Complejos I y II a la presencia de gases contentivos de fluoruro y alúmina (alta contaminación).
3. Las fallas que afectan el funcionamiento de los equipos que integran las salas se deben a factores externos (falta de mantenimiento, escasez de repuestos, presencia de agentes contaminantes) y factores propios de los equipos de tipo mecánico, eléctrico, refrigerativos, operativos, neumáticos e instrumentación.
4. La frecuencia de fallas de los equipos presentan un comportamiento progresivo, individualmente se observa que la sala que presenta el mayor número de fallas es la de Complejo II, con 325 reportes, donde 234 son atribuidas a los compresores y 91 a los equipos auxiliares.
5. El análisis de Pareto indica que se debe centrar la atención en las fallas mecánicas tanto en los compresores como en los equipos auxiliares, debido a que en ellas se encuentra el 84,43% de fallas en Facilidad 18, 80,42% en Complejo I y 71,08% Complejo II.

6. Los compresores que presentan la mayor cantidad de fallas durante el periodo evaluado son: C3 con 19 fallas en Facilidad 18, ZR-5A (N²) con 42 fallas en Complejo I y ZR-5A (N¹) con 65 fallas en Complejo II.
7. La Confiabilidad de los equipos que integran las salas es baja, en función del tiempo promedio operativo oscila entre el 29,79% y 36%, siguiendo distribución Gamma, Exponencial y Lognormal.
8. La Mantenibilidad es alta, oscila entre el 80-88 %, sin embargo, para alcanzarla se requiere de tiempos fuera de servicio muy altos, por ende, no es posible tener una Mantenibilidad en valor meta de media hora.
9. La Disponibilidad de las salas es alta, siendo 97,94% para Facilidad 18, 97,13% Complejo I y 95,23% Complejo II.
10. Las salas han disminuido su capacidad de generación de aire comprimido considerablemente, Facilidad 18 un 26,41%, Complejo I 49,14% y Complejo II 35,82%.
11. La cantidad de aire comprimido generado, actualmente por los equipos instalados en las tres salas en base a caudal y presión, sin tomar en cuenta las pérdidas a lo largo del sistema de distribución de aire es de 31005,15 Cfm, distribuido en facilidad 18 12982,34 Cfm, Complejo I 8191,94 Cfm y Complejo II 9830,88 Cfm.
12. El consumo general promedio de aire comprimido en planta, en base a capacidad de producción actual (55%) y sin considerar los usos indebidos del aire, es aproximadamente de 30021,53 Cfm, y la demanda máxima de 43171,38 Cfm.

13. Los Complejos de Reducción son los máximos consumidores de aire comprimido, presentando déficit de presión constante, su consumo actual promedio es de 12182,62 Cfm para complejo I (194 celdas operativas) y 12068,92 Cfm para Complejo II (202 celdas operativas).
14. La Sala de Complejo I presenta un déficit de generación de aire comprimido en función de la demanda de 691,66 cfm (8,44%).
15. La propuesta de mejoramiento de cada una de las salas generadoras de aire comprimido es técnicamente factible, dado que permitirá incrementar la producción de aire y mejorar las condiciones ambientales en las mismas.
16. El Proyecto de Centralización de Generación de Aire Comprimido es factible técnicamente, permitirá aumentar la capacidad de generación de aire, mejorar la calidad del mismo y disminuir las intervenciones de mantenimiento en los equipos.
17. La evaluación económica del conjunto de alternativas planteadas presentaron los siguientes indicadores económicos:
- Alternativa A: VP= 154.243.346,6 Bs; VA=22.646.684,94 Bs.
 - Alternativa B: VP= 177.951.550,7 Bs; VA= 26.127.623,48 Bs.
 - Alternativa C: VP=99.463.544,67 Bs; VA= 14.603.237,63 Bs.
18. La Adecuación Tecnológica de Centralización de la Generación de Aire Comprimido (Alternativa C), se presenta como la alternativa más económica para la empresa, representando un ahorro de costo anual equivalente con respecto a la situación actual de 8.043.447,31 Bs/Año y de costos de operación y mantenimiento de 1.778.914,11 Bs/ Año.

RECOMENDACIONES

En función de los resultados y conclusiones obtenidos con este estudio se recomiendan las acciones siguientes:

1. Realizar las gestiones para implementación de la propuesta de culminación del Proyecto de Centralización de Generación de Aire Comprimido (Alternativa C), con un monto estimado de 33.707.884,92 Bs, ya que es la alternativa más factible y con ella se garantizará la generación óptima de aire en el tiempo y con ello la continuidad operativa de la planta.
2. Efectuar un estudio del sistema de distribución de aire (tuberías y válvulas), a fin de realizar reemplazo del mismo, y evitar las fugas de aire existentes.
3. Calcular la carga térmica producida en cada sala, a fin de colocar extractores que ventilen las mismas y reducir el calentamiento en los motores de los equipos.
4. Instalar medidores de caudal, tanto en las salas generadoras de aire como en cada una de las unidades usuarias, con el objeto de conocer las cantidades exactas de aire suministrado y demandado, y de esta manera, llevar un mejor control del sistema en cantidad y oportunidad del servicio.
5. Implementar el uso continuo de indicadores de confiabilidad, Mantenibilidad y disponibilidad a la gestión de mantenimiento actualmente desempeñada por el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento, de forma que se mejore la efectividad del control y seguimiento de los planes y ejecución de mantenimiento a los equipos de las salas de compresores existentes.

6. Considerar en el Plan de reincorporación de celdas, que la demanda requerida actual por los Complejos de Reducción (24.251,54 Cfm) esta al límite de la suministrada, y la demanda máxima en función de las 720 celdas operativas(31.709,376 Cfm), a fin de evitar insuficiencias y/o colapsos en el sistema de suministro de aire comprimido.
7. Colocar avisos informativos sobre la importancia del buen uso del aire comprimido en planta, a fin de evitar despilfarros del mismo.
8. Seleccionar proveedores que garanticen el suministro oportuno de repuestos, con la finalidad de asegurar la operatividad y el mantenimiento de los equipos con un alto nivel de eficiencia.

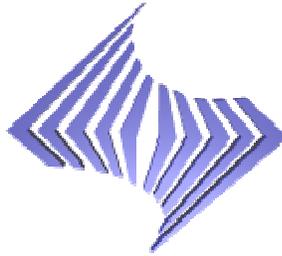
BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS, Fidas G. **El Proyecto de Investigación, Introducción a la Metodología Científica.** (2006). Editorial Episteme. 5^{ta} Edición. Caracas, Venezuela.
- BLANK Leland, TARQUIN Anthony. **Ingeniería Económica.** (1987). Editorial McGraw- Hill Interamericana.
- CORDOBA PADILLA, Marcial. **Formulación y Evaluación de Proyectos.** (2006). ECOE Ediciones.
- DIAZ MATALOBOS, Angel. **Confiabilidad en Mantenimiento.** (1992). Ediciones IESA. Caracas, Venezuela.
- DIAZ, Javier. **Macroeconomía Primeros Conceptos.** (2004). Antoni Bosch Editor.
- ERROSA, Victoria. **Proyectos de Inversión e Ingeniería.** (1987). Editorial Limusa.
- GARCÍA PARRA, Mercedes **Dirección Financiera.** (2004). Ediciones UPC.
- HURTADO DE BARRERA, Jacqueline. **El Proyecto de Investigación.** (2007). Ediciones SYPAL. 5^{ta} Edición. Venezuela.
- ROJAS DE NARVÁEZ, Rosa. **Orientaciones Prácticas para la Elaboración de Informes de Investigación.** (1997). Ediciones UNEXPO. 2^{da} Edición. Venezuela.

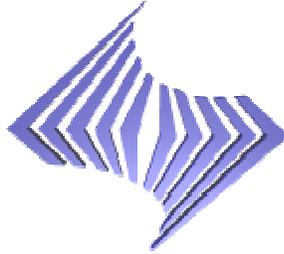
-
- SALVADOR, Mercado. Metodología de la Investigación. (2002). Editorial: LIMUSA. 2^{da} Edición. México.
 - VALERA IBARRA, Rafael. **Manual de Estadística Básica**. (1996). Vice rectorado de Investigación y Postgrado UPEL. 2^{da} Edición. Venezuela.

PÁGINAS ELECTRÓNICAS

- El Control de Cambios. Prof. Jesús Alberto Fernández J. Enero, 2004. Tipo de cambio único. Página Web en línea. Disponible: http://www.ucab.edu.ve/.../Profesorado/fernandez_jesus/controldecambios.ppt. (Consulta: Junio 2011).
- Diagrama de Ishikawa. Página Web en línea. Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Ishikawa. (Consulta: Abril 2011)
- Evolución de la Inflación en Venezuela por periodos de Gestión, 1950-2011. Página Web en línea. Disponible: <http://twextra.com/at6r7j>. (Consulta: Junio 2011)
- Industria Venezolana del Aluminio, C.A (CVG Venalum). Pagina web en línea. Disponible: <http://www.Venalumi.com>. (Consulta: Marzo 2010-Mayo 2011).
- Instituto Nacional de Estadística (INE). Página Web en línea. Disponible: <http://www.ine.gov.ve/balanzapagos/balanza.asp>. (Consulta: Junio 2011)
- Página Web en línea. Disponible: http://www.elprisma.com/apuntes/ingeniería_industrial. (Consulta: Abril 2011)



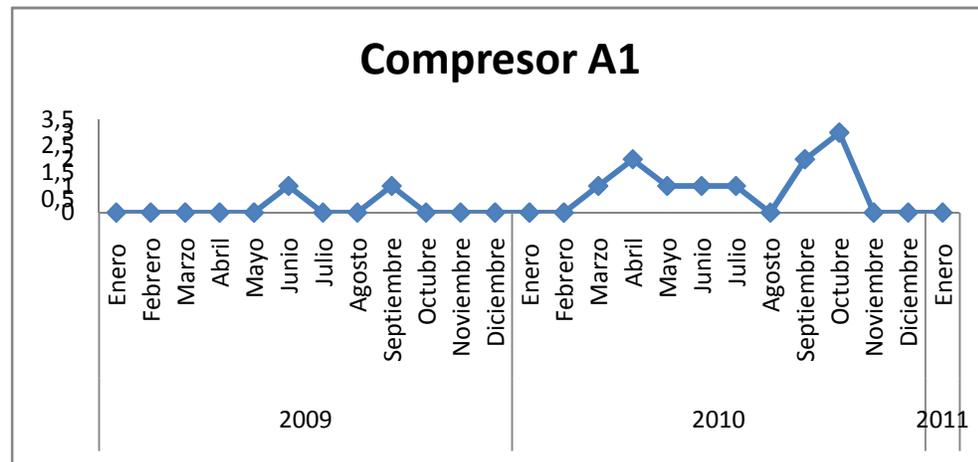
APÉNDICES



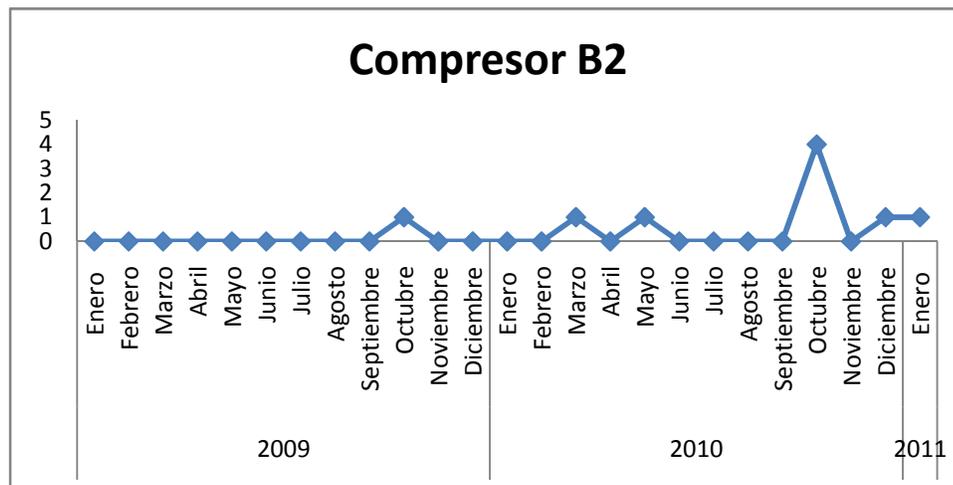
Apéndice A

- Gráficos de Comportamiento Mensual de Compresores de Sala Facilidad 18
- Gráficos de Comportamiento Mensual de Compresores de Sala Complejo I
- Gráficos de Comportamiento Mensual de Compresores de Sala Complejo II

GRÁFICOS DE COMPORTAMIENTO MENSUAL DE COMPRESORES DE SALA FACILIDAD 18

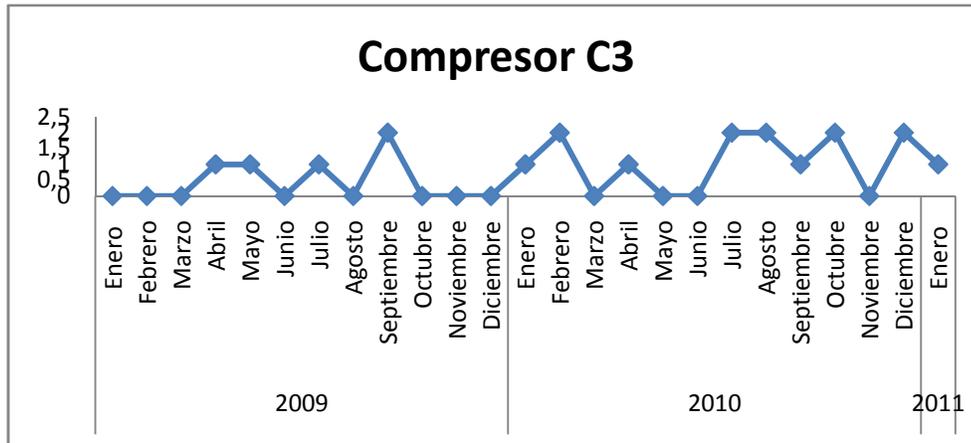


Se evidencia, que el compresor no presenta un alto índice de fallas en el tiempo, puesto que para la mayoría de los meses en estudio, este no presento fallas, y en el caso donde se presento la falla se correspondía a una falla por mes.

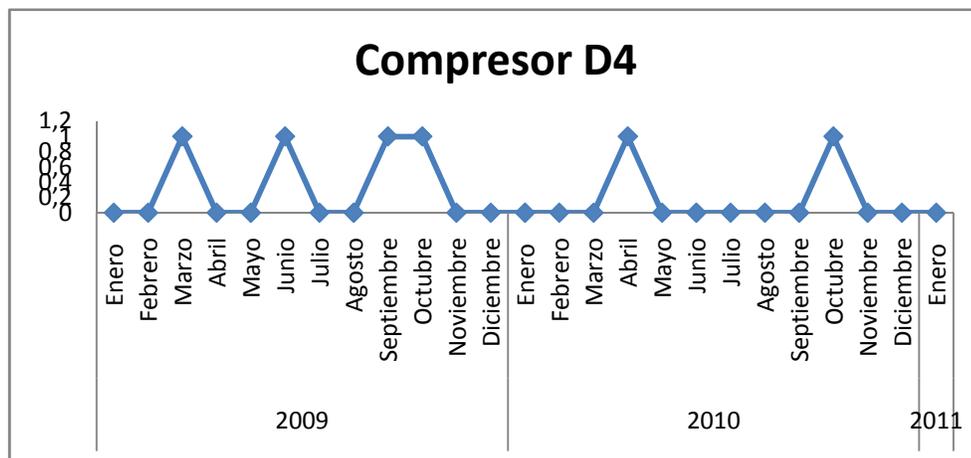


Se puede notar que el compresor, presenta un comportamiento similar mes a mes, teniendo una frecuencia de presencia de fallas baja, dado que de los veinticinco meses de estudio, este solo presentó fallas en seis de estos, las

cuales fueron una falla para los meses de Octubre 2009, Marzo y Mayo 2010, cuatro fallas para el mes de Octubre 2010 y dos fallas para los meses Diciembre 2010 y Enero 2011.

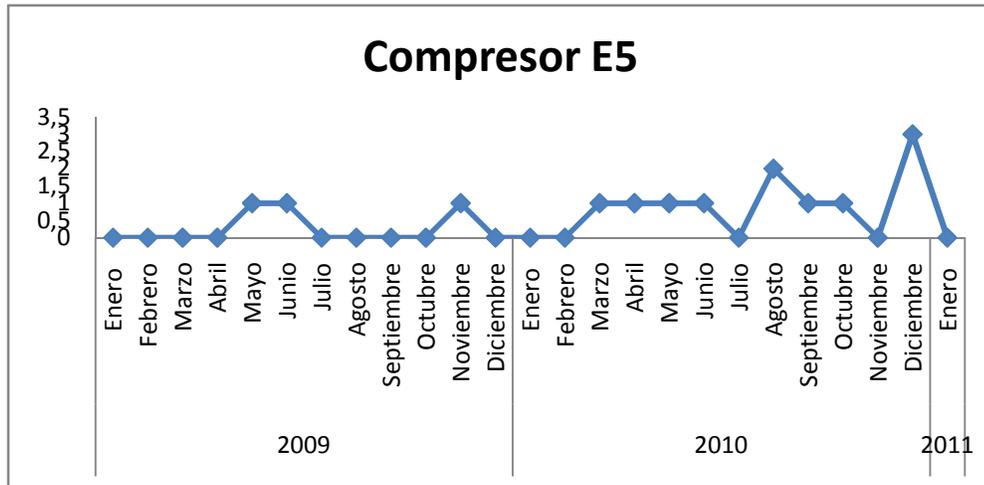


El compresor C3, no presentó fallas para doce meses de los veinticinco meses de estudio, sin embargo para el resto de los meses la frecuencia de fallas se encuentra entre dos y cuatro fallas, evidenciándose las mismas con mayor repetitividad a partir de Julio de 2010.

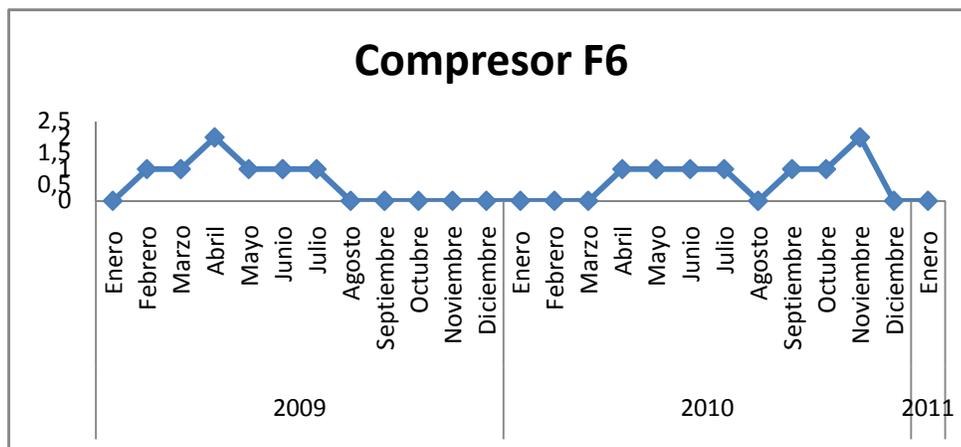


Se observa que el compresor D4, presenta rachas y estacionalidad, evidenciadas al inicio del 2009 hasta Noviembre de 2009, donde sigue una

misma tendencia, de cada dos meses presentar una falla, y luego el patrón de funcionar normalmente durante cinco meses consecutivos, antes de presentar la nueva falla.

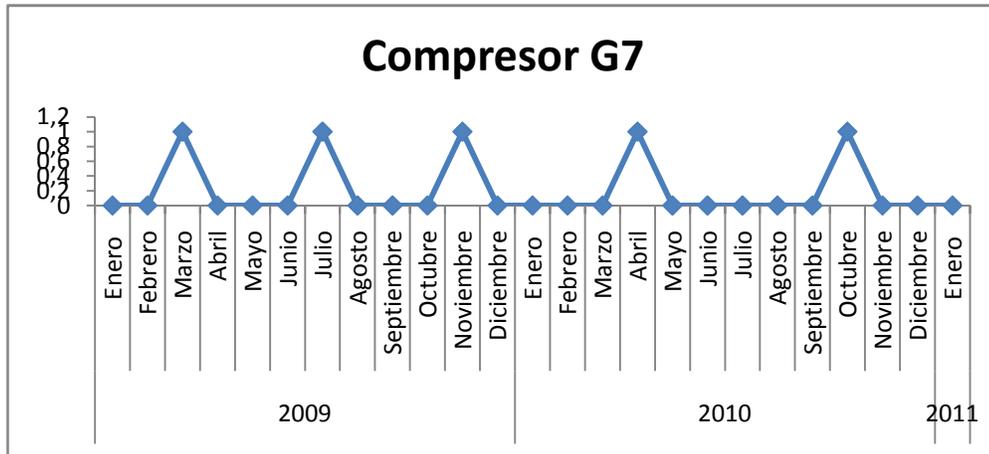


Este compresor, presenta en el periodo de enero de 2009 a febrero de 2010, un comportamiento constante de producir una falla cada cuatro meses, y de allí en adelante tiende a presentar una falla mes a mes.

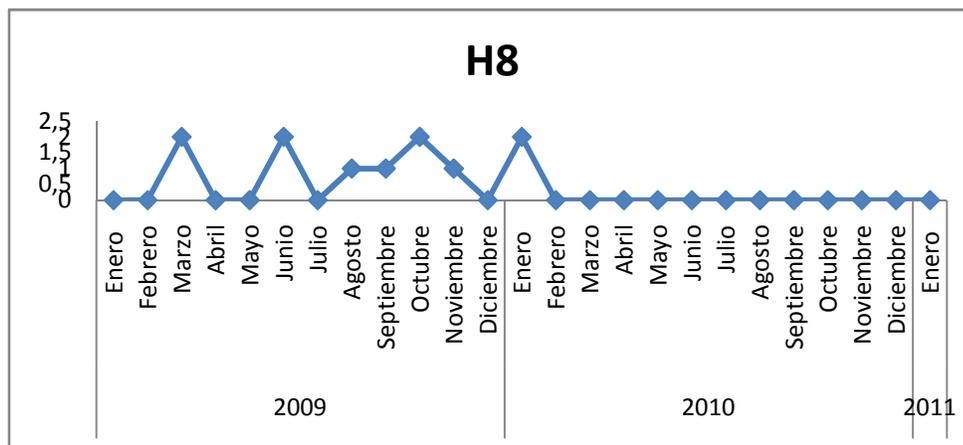


El compresor F6, presenta un comportamiento constante de una falla mensual, exceptuando los meses desde Agosto 2009 hasta Marzo 2010,

donde no se presentaron fallas, al igual que para Agosto y Diciembre de 2010 y Enero 2011.

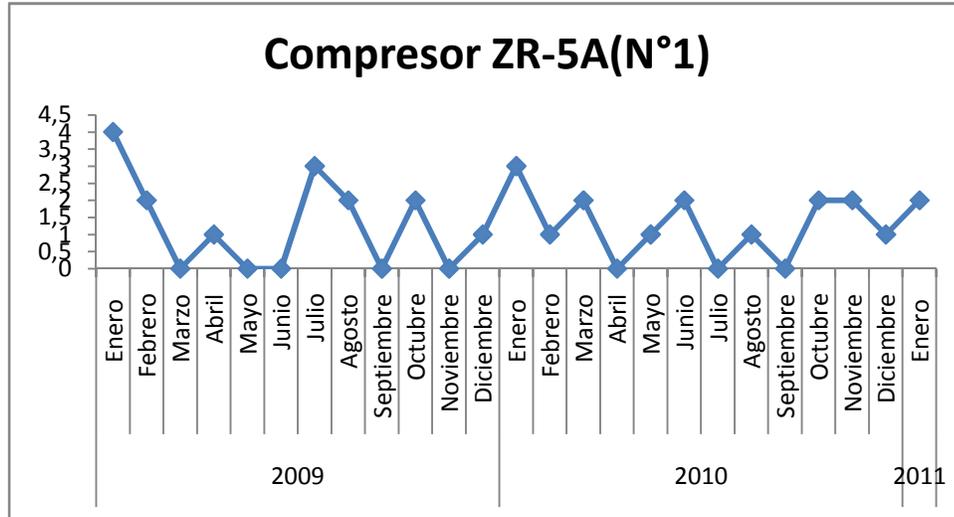


De la figura anterior se evidencia que el comportamiento del compresor mes a mes es invariable, pues la curva presenta periodicidad de no fallar y al momento de presentarse la falla se da una sola al mes.

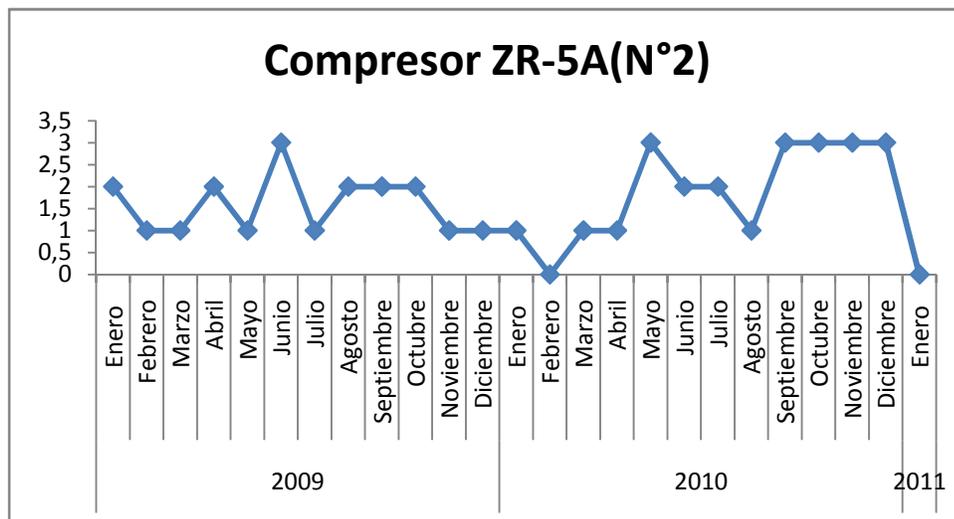


El compresor H8, presenta comportamiento al inicio del mes de estudio hasta Febrero de 2010, luego se observa que no se presentan fallas, pues actualmente el compresor esta fuera de servicio.

GRÁFICOS DE COMPORTAMIENTO DE COMPRESORES DE SALA COMPLEJO I

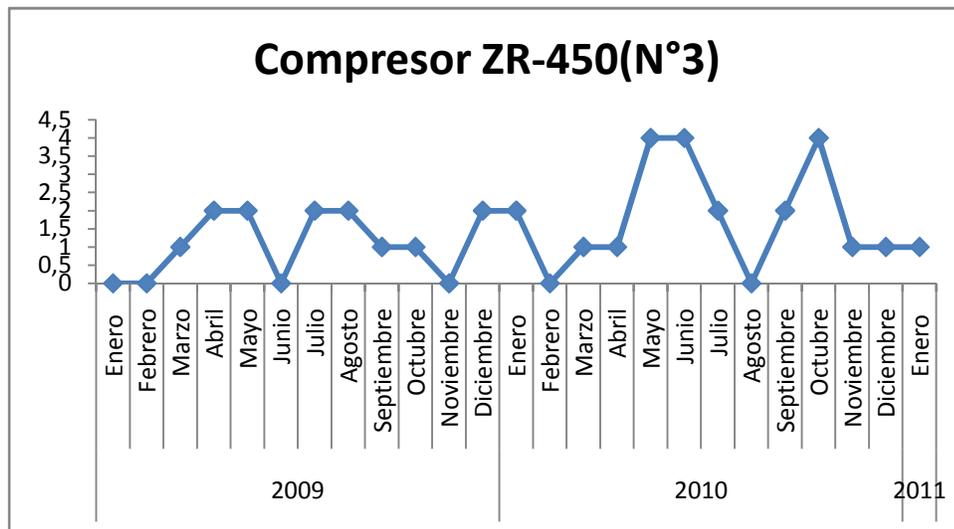


Se observa, que el compresor presenta un comportamiento regular en el número de fallas, presentando una o dos fallas durante los meses estudiados.

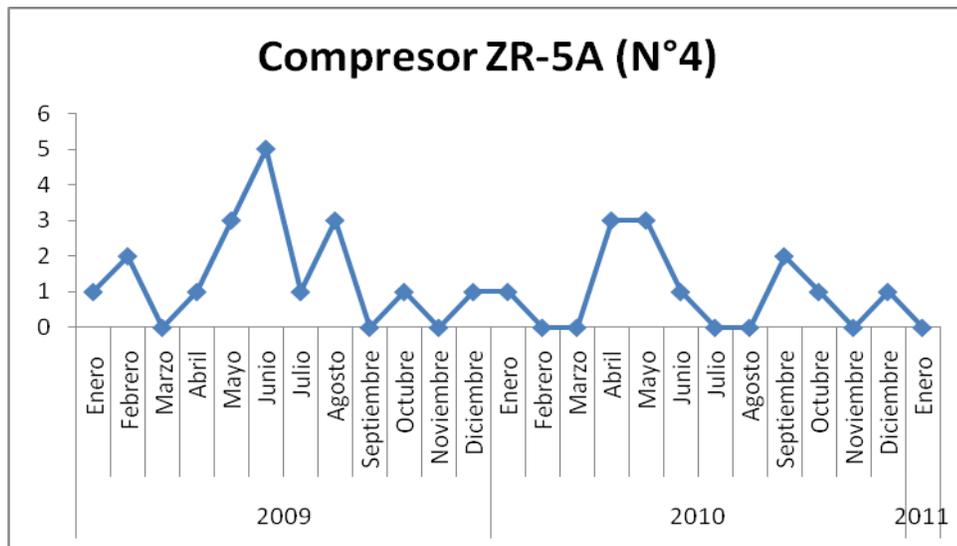


El comportamiento de este compresor, es un poco irregular de un año a otro, destacando que para los meses de Agosto 2009 a Abril 2010, presenta

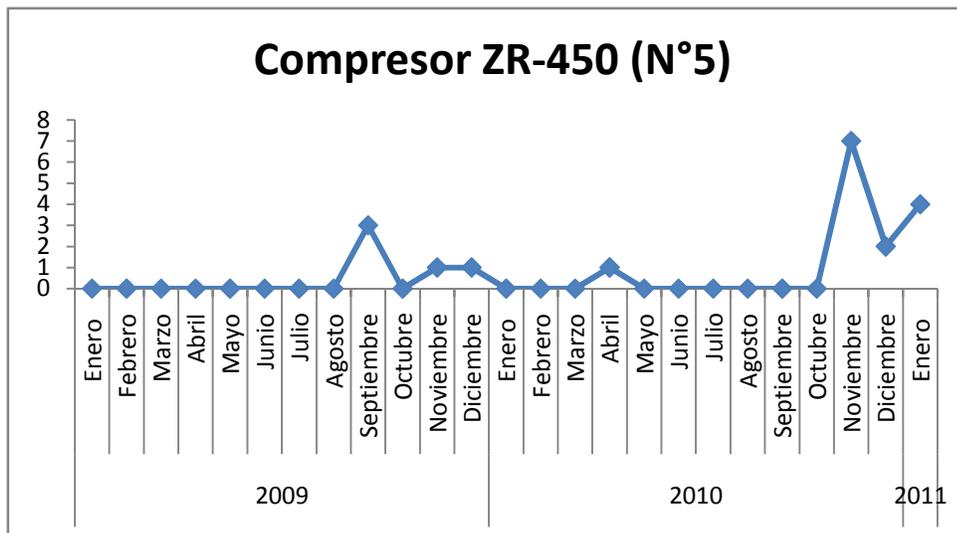
rachas correspondientes a 2 fallas por mes, y estacionalidad de tres fallas por mes de Septiembre a Diciembre de 2010. En líneas generales, el compresor siempre presentó fallas durante el periodo de estudio, a excepción, de febrero de 2010 y Enero de 2011.



Se demuestra de la figura anterior, que el compresor tiene un comportamiento regular, al inicio de los meses de estudio presentando en promedio dos fallas por mes, incrementando luego las fallas a cuatro mensuales, y finalmente estabilizándose de Noviembre 2010 a Enero 2011, en una falla mensual.

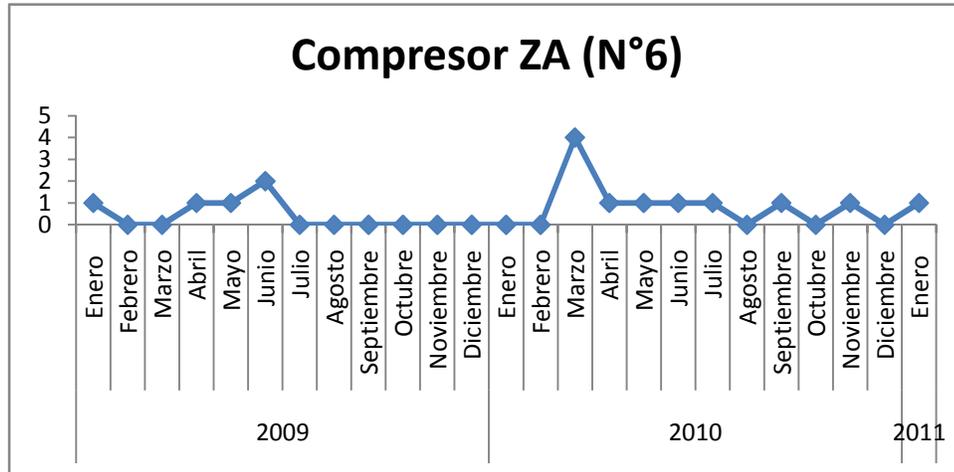


Este compresor, presenta un comportamiento con progresión descendente, resaltando que el número de fallas fluctúa entre una o tres fallas mensuales.



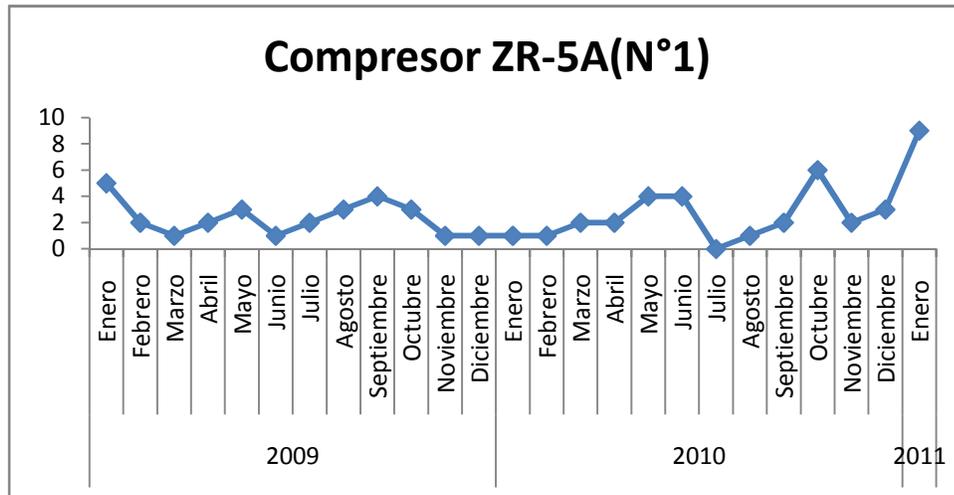
Se percibe, que es un compresor, que presenta pocas fallas durante el periodo evaluado, puesto que de los veinticinco meses de estudio solo falló en siete oportunidades, destacando que de Noviembre 2010 a Enero de 2011, es donde se evidencia el mayor número de fallas, motivado a que tiene

el piñón del elemento de alta dañado por lo que actualmente se encuentra fuera de servicio.

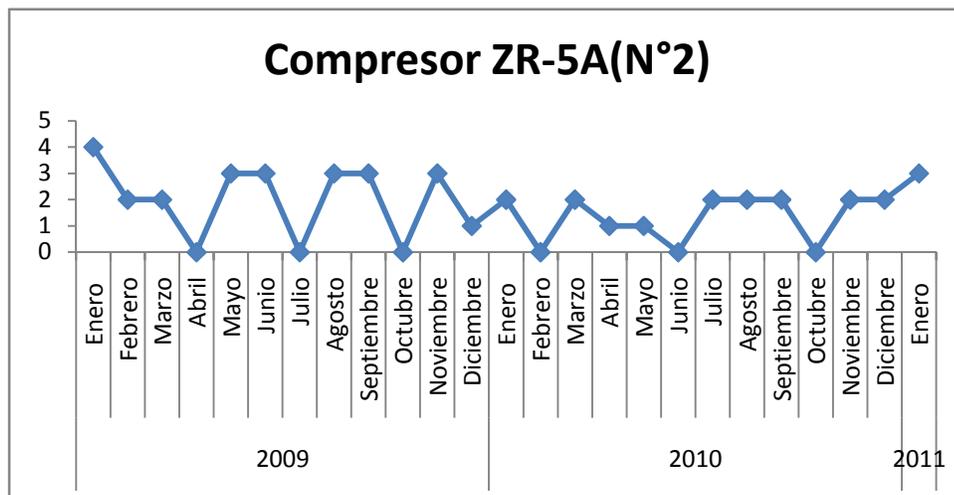


El compresor ZA, presenta la peculiaridad de estacionalidad de cero fallas desde Julio de 2009 hasta Febrero de 2010, luego aparece la más alta falla (4) para el mes de Marzo, descendiendo de Abril a Julio de 2010 en una falla al mes, y finalmente se mantiene constante, fallando un mes sí y otro no.

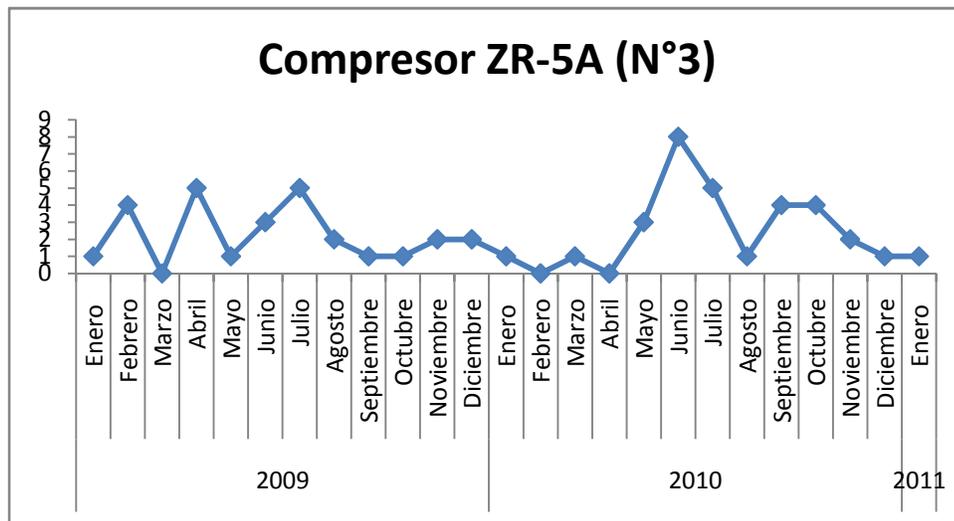
GRÁFICOS DE COMPORTAMIENTO MENSUAL DE COMPRESORES DE SALA COMPLEJO II



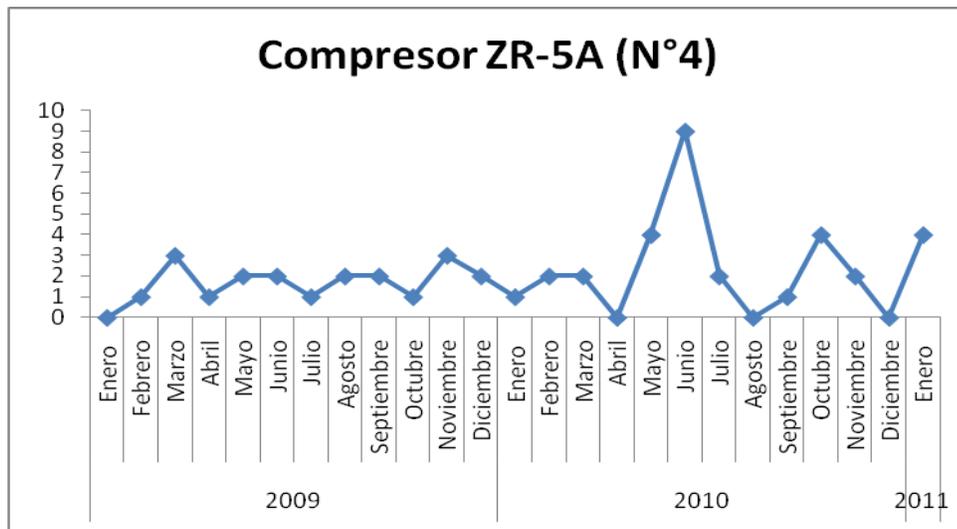
Se percibe, que el compresor presenta un comportamiento regular en la ocurrencia de fallas, evidenciándose que siempre se presentaron fallas, excepto en Julio de 2010, aunado a ello se dan rachas de Noviembre a Junio de 2010, en una y dos fallas mensuales, y finalmente el valor más alto (9 fallas) se distingue para Enero de 2011.



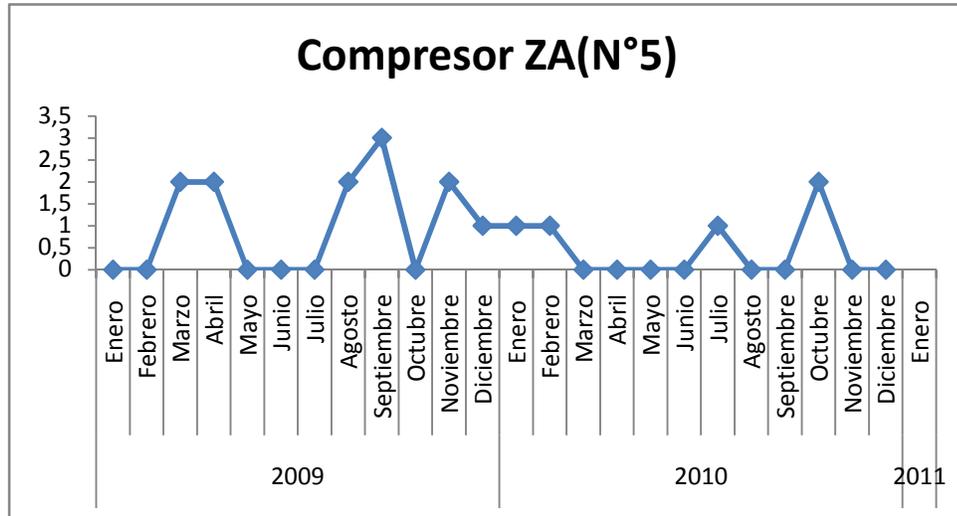
De la figura anterior, se tiene que el comportamiento de las fallas del compresor es regular, de Abril a Noviembre de 2009, donde presenta una falla cada dos meses, luego tiende a tener un comportamiento variante, pero oscilando las fallas mensuales en el valor de uno y dos.

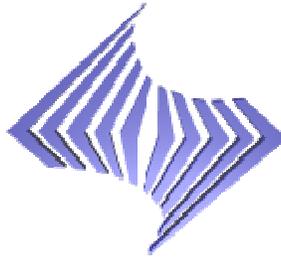


Se percibe, que el compresor tiene tres comportamientos, pues de Enero-Julio 2009, prevalece el valor de cuatro fallas mensuales, de Agosto 2009 a Abril de 2010, decrece la ocurrencia de fallas manteniéndose en una falla al mes, y finalmente incrementa su valor, percibiéndose la fallas más alta (8) para Junio de 2010, por tanto, el comportamiento en líneas generales, tiene mucha irregularidad.



Del gráfico anterior, se resalta que el comportamiento es similar mes a mes, prevaleciendo el valor de dos fallas mensuales, a excepción del Junio de 2010, donde se presentó el valor más crítico (9 fallas) de todo el periodo de estudio.

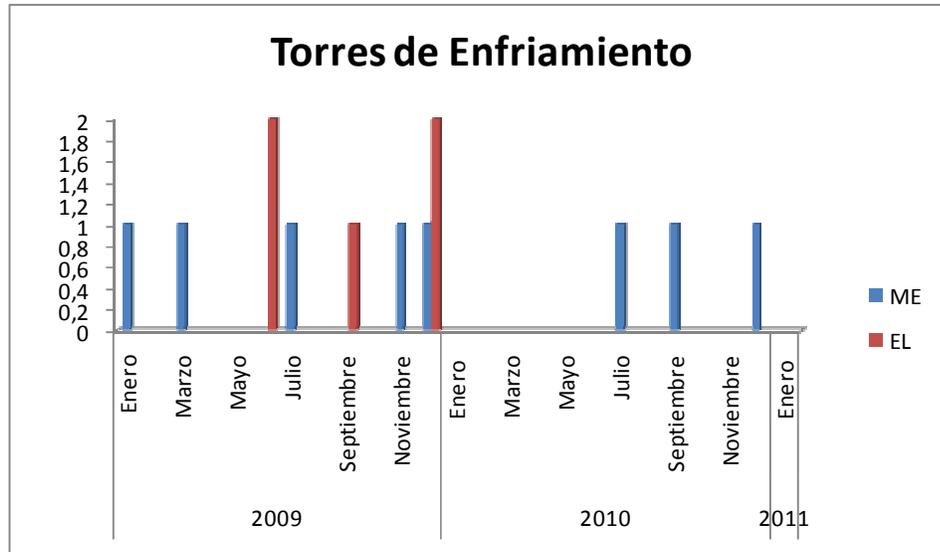




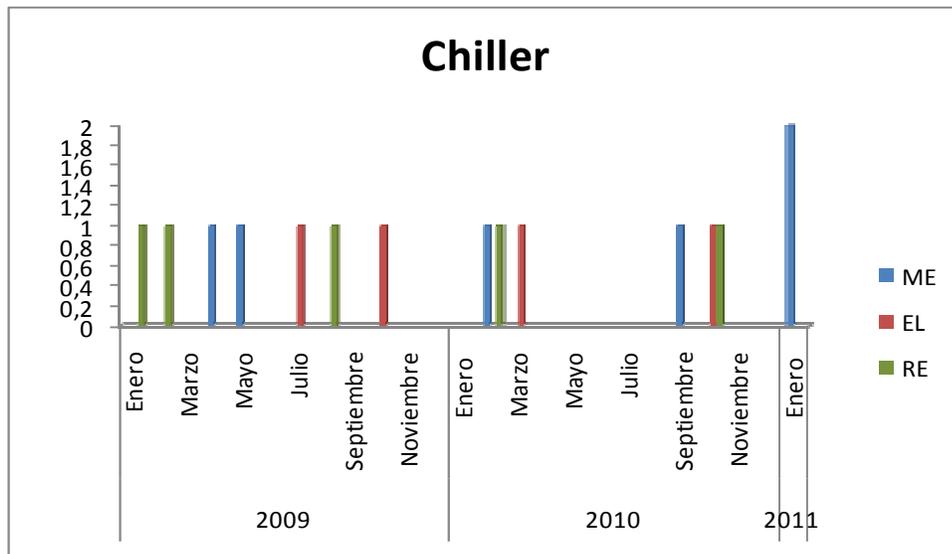
Apéndice B

- Gráficos de Comportamiento Mensual de Equipos Auxiliares de Sala de Facilidad 18
- Gráficos de Comportamiento Mensual de Equipos Auxiliares de Sala de Complejo I
- Gráficos de Comportamiento Mensual de Equipos Auxiliares de Sala de Complejo II

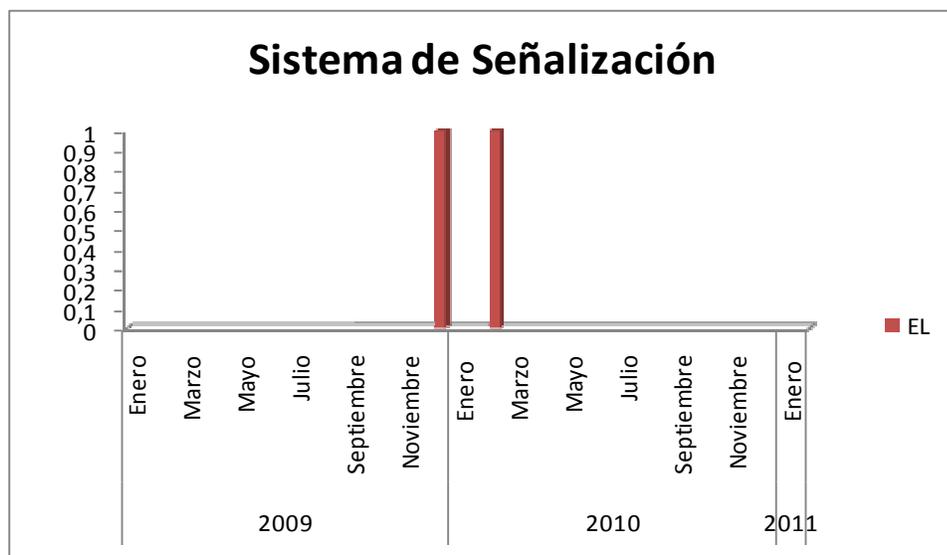
GRÁFICOS DE COMPORTAMIENTO MENSUAL DE EQUIPOS AUXILIARES DE SALA DE FACILIDAD 18



En este se evidencia, que las fallas presentadas con mayor frecuencia en las torres de enfriamiento son las de tipo mecánica, las cuales tienen un comportamiento similar, puesto que durante el tiempo evaluado se presentaron una cada mes, en ocho de los veinticinco meses, por su parte las fallas eléctricas fueron menos significativas se mostraron en tres meses del periodo evaluado, en una proporción de dos fallas para el mes de Junio y Diciembre de 2009 y una para Septiembre de 2009. En líneas generales, las torres fallaron en mayor proporción en el año 2009 (10 fallas) que en el 2010 (3 fallas).

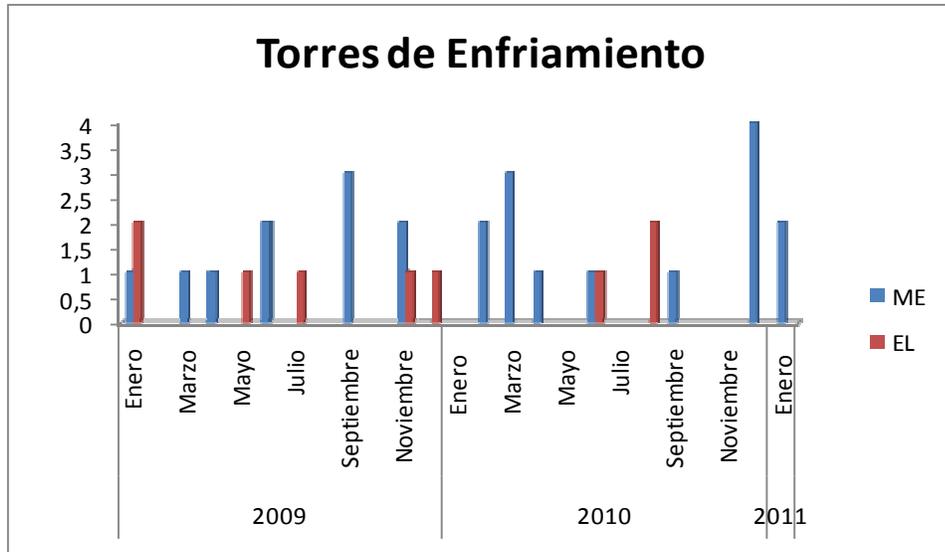


Se observa que el Chiller presenta un comportamiento análogo mes a mes, donde las fallas mecánicas y refrigerativas se produjeron cinco veces en el periodo estudiado, y las eléctricas cuatro, siguiendo un patrón un año a otro.

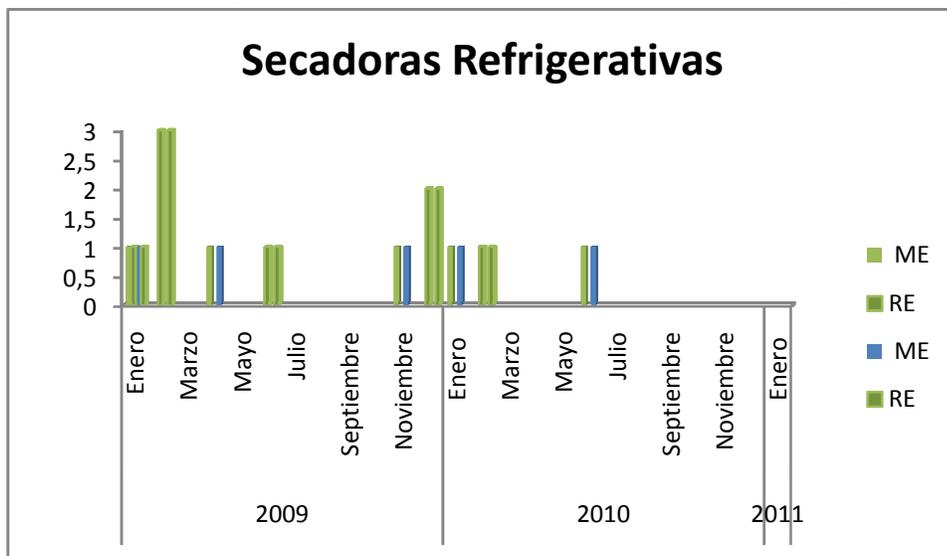


De lo anterior, se expresa que el Sistema de señalización, tiene un comportamiento ideal, puesto que solo presentó dos fallas eléctricas durante el período evaluado, reflejadas por chequeo de circuito y reemplazo de bombillos, en Diciembre de 2009 y Febrero de 2010.

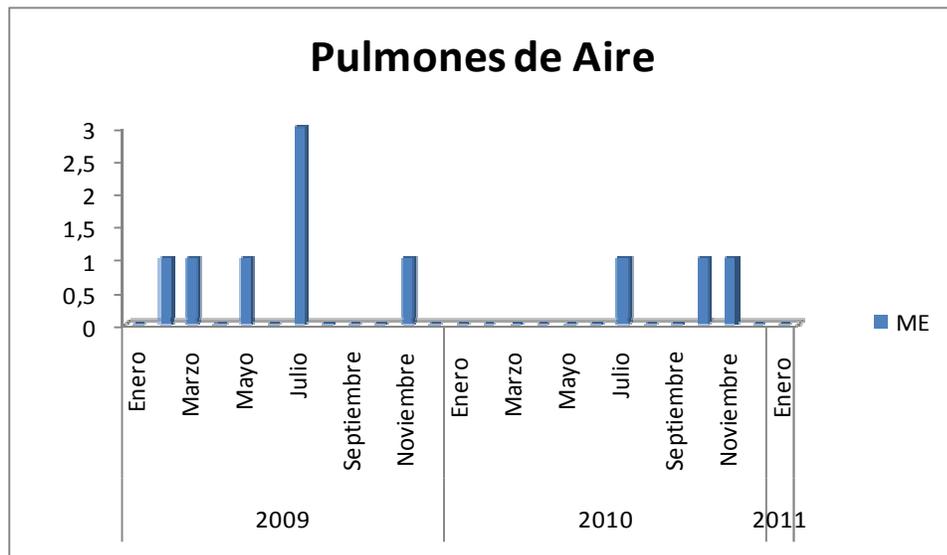
GRÁFICOS DE COMPORTAMIENTO MENSUAL DE EQUIPOS AUXILIARES DE SALA DE COMPLEJO I



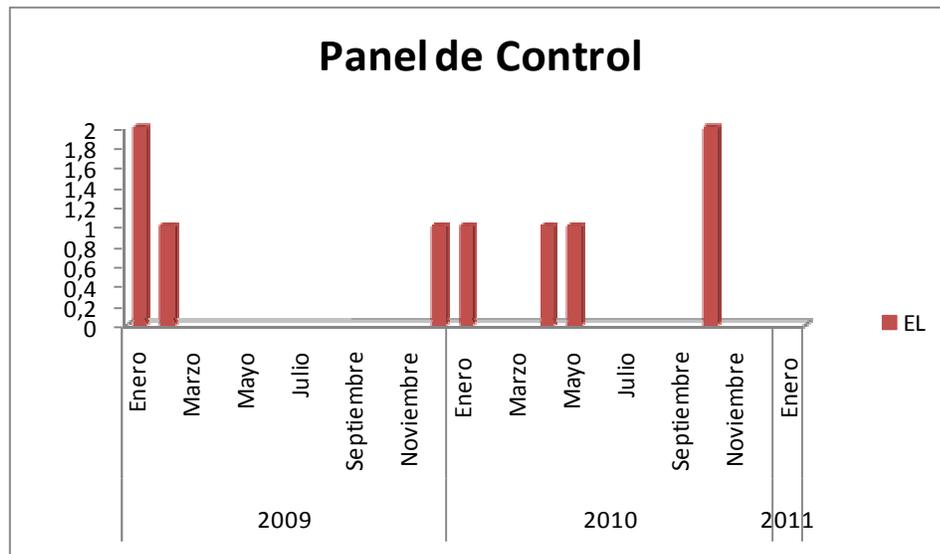
En este se evidencia que las fallas mecánicas son más frecuentes que las eléctricas, percibiéndose que el valor que mas prevalece de éstas es de una al mes, y en total suman veinticuatro para el periodo estudiado; al contrario de las eléctricas que se presentaron solo siete veces sumando nueve en total.



Se aprecia que las secadoras, presentan fallas desde Enero de 2009 hasta Junio de 2010, y aunque tanto las fallas mecánicas como las refrigerativas se evidenciaron cinco veces de los veinticinco meses estudiados, las refrigerativas superan en cantidad a las mecánicas, debido a que de las primeras se dieron tres fallas en Febrero de 2009 y dos fallas en Diciembre de 2010, mientras que las segundas siguieron el mismo patrón de una cada mes.

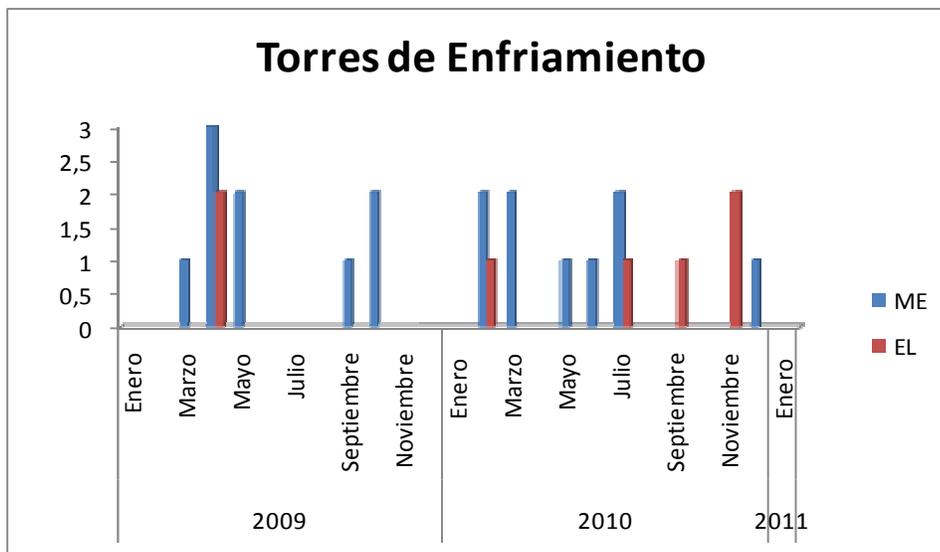


Se nota que los pulmones de aire, no presentan grandes problemas, puesto que su número de fallas es pequeño, pues solo fallaron en ocho meses de los veinticinco meses de estudio, lo que representa un total de nueve fallas.

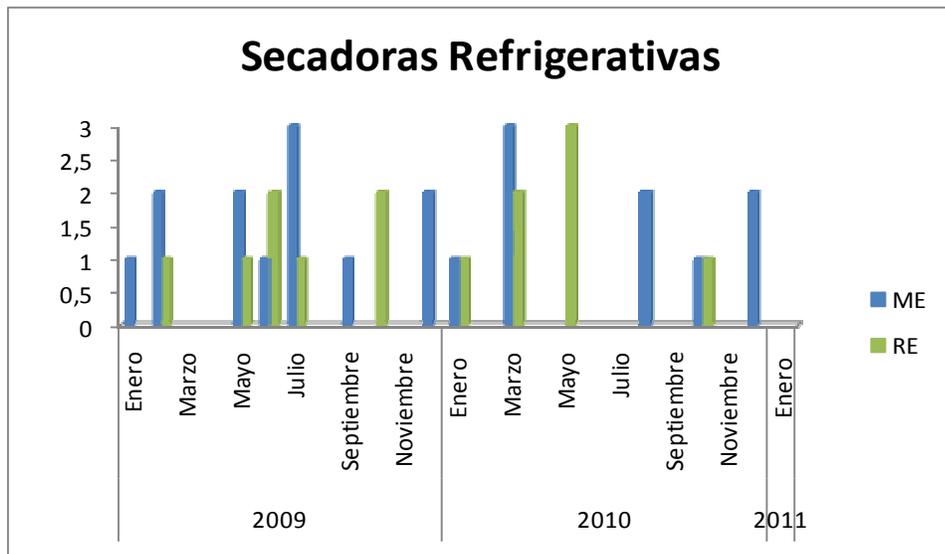


De lo anterior, se observa que el panel de control, tiene un comportamiento óptimo, pues falló solo siete veces durante el período de estudio.

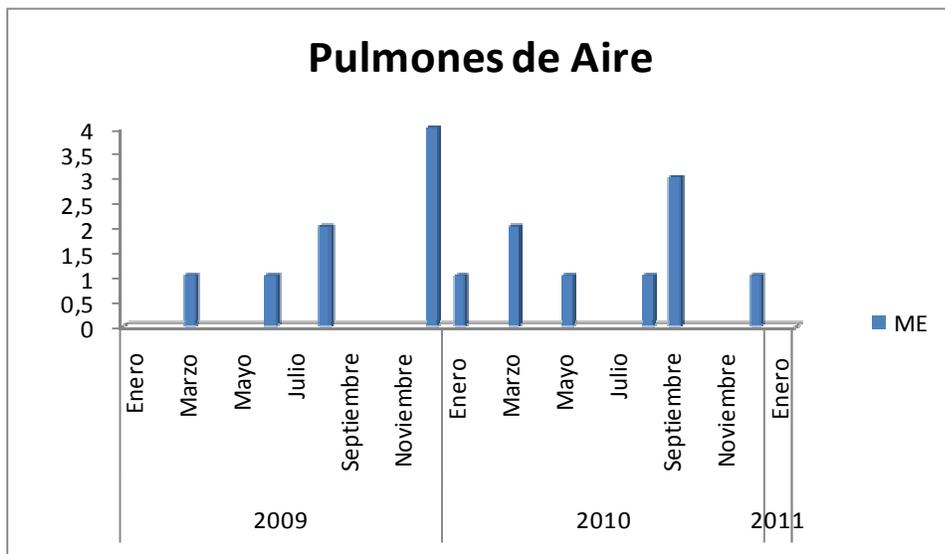
GRÁFICOS DE COMPORTAMIENTO MENSUAL DE EQUIPOS AUXILIARES DE SALA DE COMPLEJO II



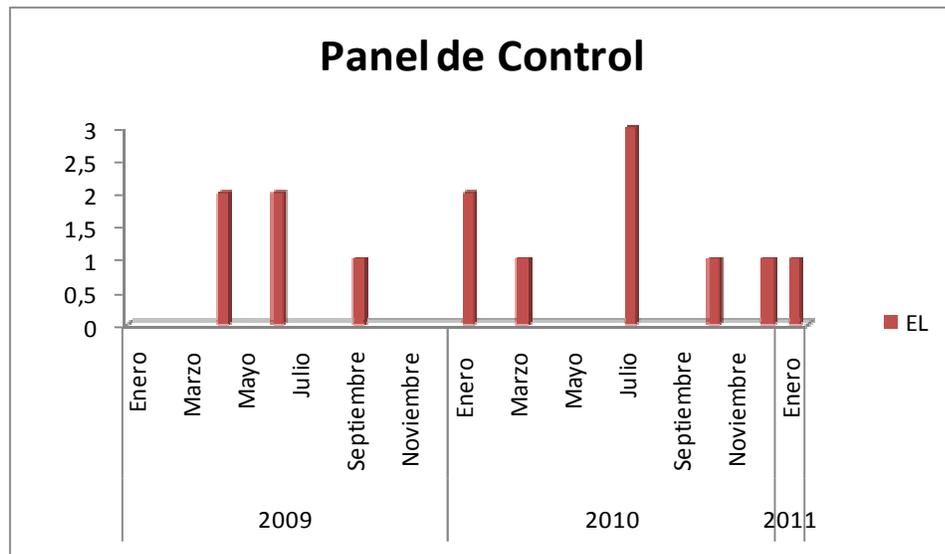
El histograma anterior, muestra que tanto las fallas mecánicas como eléctricas, tienen poca probabilidad de ocurrencia, imponiéndose las mecánicas durante once meses de los veinticinco de estudio, mientras que las eléctricas se reflejaron en cinco meses.



De la figura anterior, se percibe que las secadoras, presentaron fallas mecánicas en mayor proporción que las refrigerativas, correspondiéndose 21 para las mecánicas y 14 para las refrigerativas, y el valor más crítico reportado en ambos tipos, fueron de tres fallas en un mes.



Se observa que los pulmones de aire, presentan fallas esporádicamente, ya que de los veinticinco meses de estudio, estos fallaron en diez de ellos, siendo la falla más alta (4) para Diciembre de 2009.



Del gráfico anterior, se evidencia que la presencia de fallas mes a mes es similar, sin embargo, para el año 2010 se presentaron mayor número de averías que para el 2009, siendo los valores ocho y cinco respectivamente



Apéndice C

- Tablas de Tiempos de Mantenimiento Compresores de Sala
Facilidad 18
- Tablas de Tiempos de Mantenimiento Compresores de Sala
Complejo I
- Tablas de Tiempos de Mantenimiento Compresores de Sala
Complejo II

TABLAS DE TIEMPOS DE MANTENIMIENTO COMPRESORES DE SALA DE FACILIDAD 18

COMPRESOR A1								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	41.152	01/06/2009	01/06/2009	0,75	2256,38	2257,13	ME
9	1	65.931	03/09/2009	03/09/2009	2,04	4652,50	4654,54	ME
10	1	21.383	16/03/2010	16/03/2010	1,25	500,28	501,53	ME
10	1	28.121	06/04/2010	06/04/2010	4,97	332,50	337,47	ME
10	1	32.004	20/04/2010	20/04/2010	4,00	389,41	393,41	ME
10	1	36.242	06/05/2010	14/05/2010	187,09	427,50	614,59	ME
10	1	43.995	01/06/2010	01/06/2010	2,17	1366,00	1368,17	ME
10	1	58.949	28/07/2010	11/08/2010	341,42	525,58	867,00	ME
10	1	68.654	02/09/2010	02/09/2010	1,00	475,67	476,67	ME
10	1	74.473	22/09/2010	22/09/2010	1,33	221,58	222,92	ME
10	1	77.003	01/10/2010	01/10/2010	0,33	90,42	90,75	ME
10	1	77.042	05/10/2010	05/10/2010	1,17	217,33	218,50	ME
10	1	80.180	14/10/2010	14/10/2010	2,17			ME

COMPRESOR B2								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	80.075	22/10/2009	22/10/2009	0,75	3476,92	3477,67	ME
10	1	21.384	16/03/2010	16/03/2010	2,42	1228,84	1231,26	ME
10	1	36.243	06/05/2010	07/05/2010	18,91	3650,67	3669,57	ME
10	1	78.323	06/10/2010	06/10/2010	1,20	23,22	24,42	ME
10	1	78.437	07/10/2010	07/10/2010	1,08	27,75	28,83	ME
10	1	78.853	08/10/2010	08/10/2010	0,58	251,17	251,75	ME
10	1	80.380	19/10/2010	20/10/2010	36,17	1331,33	1367,50	ME
10	1	97.801	15/12/2010	15/12/2010	3,67	1085,22	1088,88	EL
11	1	9.068	29/01/2011	29/01/2011	1,22			ME

COMPRESOR C3								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	17.032	14/04/2009	14/04/2009	5,17	1056,27	1061,44	ME
9	1	81.481	28/05/2009	29/05/2009	23,73	1273,39	1297,12	ME
9	1	48.025	21/07/2009	21/07/2009	0,45	1169,00	1169,45	ME
9	1	54.245	08/09/2009	08/09/2009	5,17	11,95	17,12	ME
9	1	28.017	09/09/2009	09/09/2009	13,05	2825,83	2838,88	ME
10	1	2.083	05/01/2010	05/01/2010	1,75	694,25	696,00	ME
10	1	6.238	03/02/2010	03/02/2010	1,20	361,44	362,64	ME
10	1	20.560	18/02/2010	18/02/2010	3,86	1529,58	1533,44	ME
10	1	47.630	23/04/2010	23/04/2010	6,50	1657,50	1664,00	ME
10	1	65.241	01/07/2010	01/07/2010	0,67	159,25	159,92	ME
10	1	66.770	08/07/2010	08/07/2010	6,17	1051,13	1057,30	ME
10	1	57.004	21/08/2010	25/08/2010	96,37	49,28	145,65	ME
10	1	65.015	27/08/2010	27/08/2010	8,38	135,83	144,22	ME
10	1	66.853	02/09/2010	02/09/2010	1,00	1099,67	1100,67	ME
10	1	97.727	18/10/2010	18/10/2010	6,67	17,50	24,17	ME
10	1	76.723	19/10/2010	20/10/2010	36,17	1209,84	1246,00	ME
10	1	88.082	10/12/2010	10/12/2010	4,33	144,67	149,00	ME
10	1	97.625	16/12/2010	16/12/2010	2,50	704,00	706,50	ME
10	1	97.979	14/01/2011	15/01/2011	20,28			ME

COMPRESOR D4								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	21.034	23/03/2009	23/03/2009	2,00	1732,66	1734,66	ME
9	1	32.998	03/06/2009	03/06/2009	0,04	2153,92	2153,95	ME
9	1	52.610	01/09/2009	02/09/2009	30,30	1198,33	1228,63	ME
9	1	53.218	22/10/2009	22/10/2009	0,75	3977,28	3978,03	ME
10	1	29.974	06/04/2010	06/04/2010	4,97	4275,50	4280,47	ME
10	1	76.149	01/10/2010	01/10/2010	1,00			ME

COMPRESOR E5								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	39.475	08/05/2009	08/05/2009	1,63	839,08	840,72	ME
9	1	60.028	12/06/2009	13/06/2009	30,33	3979,26	4009,59	ME
9	1	67.755	26/11/2009	26/11/2009	3,57	2635,83	2639,41	ME
10	1	14.702	16/03/2010	16/03/2010	1,25	837,75	839,00	ME
10	1	32.399	20/04/2010	20/04/2010	4,00	404,51	408,51	ME
10	1	35.855	07/05/2010	07/05/2010	2,58	956,42	958,99	ME
10	1	51.203	16/06/2010	16/06/2010	2,00	1562,61	1564,61	ME
10	1	51.369	20/08/2010	20/08/2010	0,98	145,82	146,80	IN
10	1	52.952	26/08/2010	27/08/2010	18,18	622,75	640,93	ME
10	1	72.359	22/09/2010	22/09/2010	1,33	290,42	291,75	ME
10	1	76.150	04/10/2010	04/10/2010	0,92	1416,49	1417,41	ME
10	1	91.861	02/12/2010	02/12/2010	0,34	285,22	285,57	ME
10	1	95.675	14/12/2010	14/12/2010	1,61	19,33	20,94	ME
10	1	96.107	15/12/2010	15/12/2010	3,67			ME

COMPRESOR F6								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	24.551	12/02/2009	12/02/2009	0,04	932,11	932,15	ME
9	1	26.222	23/03/2009	23/03/2009	5,28	329,83	335,11	ME
9	1	85.790	06/04/2009	06/04/2009	5,00	186,83	191,83	ME
9	1	65.539	14/04/2009	14/04/2009	2,25	1029,92	1032,17	EM
9	1	67.758	27/05/2009	27/05/2009	4,20	139,80	144,00	ME
9	1	90.755	02/06/2009	04/06/2009	53,67	954,33	1008,00	ME
9	1	91.380	14/07/2009	14/07/2009	3,25	6863,38	6866,63	ME
10	1	33.919	26/04/2010	28/04/2010	49,87	196,91	246,78	ME
10	1	36.403	06/05/2010	14/05/2010	187,09	474,88	661,97	ME
10	1	38.185	03/06/2010	03/06/2010	9,45	1167,17	1176,62	ME
10	1	44.160	22/07/2010	22/07/2010	6,08	1293,84	1299,93	ME
10	1	68.393	14/09/2010	14/09/2010	1,32	583,00	584,32	ME
10	1	74.387	08/10/2010	08/10/2010	0,58	730,17	730,75	ME
10	1	94.212	08/11/2010	08/11/2010	2,83	334,17	337,00	ME
10	1	96.106	22/11/2010	23/11/2010	24,58			ME

COMPRESOR G7								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA	FECHA ENTREGA	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	21.031	20/03/2009	20/03/2009	7,50	2920,33	2927,83	ME
9	1	37.439	20/07/2009	20/07/2009	4,67	2931,04	2935,70	ME
9	1	38.276	19/11/2009	20/11/2009	25,21	3426,88	3452,10	ME
10	1	34.159	12/04/2010	06/05/2010	579,03	3553,42	4132,45	ME
10	1	74.104	01/10/2010	01/10/2010	0,33			ME

TABLAS DE TIEMPOS DE MAANTENIMIENTO COMPRESORES DE SALA DE COMPLEJO I

COMPRESOR ZR-5A (NUMERO 1)								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	845	02/01/2009	02/01/2009	2,17	118,75	120,92	ME
9	1	2.414	07/01/2009	07/01/2009	5,17	284,92	290,08	EL
9	1	5.901	19/01/2009	19/01/2009	3,08	258,58	261,67	ME
9	1	8.375	30/01/2009	30/01/2009	4,25	308,37	312,62	ME
9	1	11.921	12/02/2009	12/02/2009	5,04	295,79	300,84	ME
9	1	15.348	24/02/2009	24/02/2009	0,04	1237,65	1237,69	ME
9	1	28.997	17/04/2009	17/04/2009	3,27	1912,02	1915,28	EL
9	1	50.361	06/07/2009	06/07/2009	5,98	-5,97	0,01	ME
9	1	50.362	06/07/2009	06/07/2009	7,05	380,33	387,39	ME
9	1	54.355	22/07/2009	22/07/2009	0,92	285,67	286,58	ME
9	1	57.226	03/08/2009	03/08/2009	1,00	358,83	359,83	ME
9	1	61.712	18/08/2009	18/08/2009	4,83	1170,67	1175,50	ME
9	1	75.767	06/10/2009	06/10/2009	3,67	213,00	216,67	ME
9	1	77.647	15/10/2009	15/10/2009	4,00	1424,55	1428,55	ME
9	1	94.412	13/12/2009	14/12/2009	16,62	522,67	539,28	ME
10	1	2.086	05/01/2010	05/01/2010	2,17	311,86	314,03	ME
10	1	6.155	18/01/2010	20/01/2010	50,14	211,83	261,97	RE
10	1	8.485	29/01/2010	29/01/2010	0,67	674,60	675,27	EL
10	1	16.879	26/02/2010	26/02/2010	0,05	310,68	310,73	ME
10	1	18.374	11/03/2010	11/03/2010	1,25	1,75	3,00	EL
10	1	21.152	11/03/2010	11/03/2010	1,42	1819,58	1821,00	ME
10	1	42.070	26/05/2010	26/05/2010	1,08	789,08	790,17	ME
10	1	51.030	28/06/2010	28/06/2010	1,58	21,75	23,33	ME
10	1	51.067	29/06/2010	29/06/2010	5,67	1036,38	1042,04	ME
10	1	62.670	11/08/2010	12/08/2010	18,54	1292,92	1311,46	ME
10	1	77.092	05/10/2010	05/10/2010	1,33	525,17	526,50	ME
10	1	82.860	27/10/2010	27/10/2010	5,83	184,42	190,25	ME
10	1	86.956	04/11/2010	04/11/2010	3,75	47,58	51,33	ME
10	1	86.492	06/11/2010	06/11/2010	2,67	603,70	606,37	ME
10	1	94.098	01/12/2010	01/12/2010	0,10	1149,95	1150,05	ME
11	1	6.163	18/01/2011	18/01/2011	6,08	202,90	208,99	ME
11	1	8.352	27/01/2011	27/01/2011	6,93			EL

COMPRESOR ZR-5A (NUMERO 2)								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	2.770	08/01/2009	09/01/2009	14,54	67,67	82,21	EL
9	1	2.771	12/01/2009	12/01/2009	0,83	676,36	677,19	ME
9	1	11.576	09/02/2009	10/02/2009	22,64	980,50	1003,14	ME
9	1	21.029	23/03/2009	23/03/2009	6,42	329,58	336,00	ME
9	1	26.223	06/04/2009	06/04/2009	3,50	332,83	336,33	ME
9	1	94.413	20/04/2009	20/04/2009	5,00	546,17	551,17	ME
9	1	77.921	13/05/2009	13/05/2009	3,08	481,13	484,22	ME
9	1	82.147	02/06/2009	02/06/2009	2,78	353,50	356,28	ME
9	1	66.233	17/06/2009	17/06/2009	5,17	214,87	220,04	ME
9	1	69.112	26/06/2009	26/06/2009	2,46	785,53	787,99	ME
9	1	62.086	29/07/2009	29/07/2009	2,56	479,53	482,09	ME
9	1	73.903	18/08/2009	18/08/2009	4,05	65,87	69,93	ME
9	1	35.606	21/08/2009	21/08/2009	6,29	401,67	407,96	ME
9	1	29.815	07/09/2009	07/09/2009	5,17	162,83	168,00	ME
9	1	45.192	14/09/2009	14/09/2009	3,67	501,17	504,83	ME
9	1	47.808	05/10/2009	05/10/2009	3,92	212,08	216,00	ME
9	1	56.108	14/10/2009	14/10/2009	3,08	476,08	479,17	ME
9	1	61.675	03/11/2009	03/11/2009	4,75	968,05	972,80	EL
9	1	41.254	13/12/2009	14/12/2009	16,37	570,83	587,20	ME
10	1	2.243	07/01/2010	07/01/2010	6,17	1769,83	1776,00	ME
10	1	23.517	22/03/2010	22/03/2010	3,17	334,17	337,33	EL
10	1	39.870	05/04/2010	05/04/2010	1,92	693,62	695,53	ME
10	1	28.029	04/05/2010	05/05/2010	26,63	210,90	237,53	ME
10	1	43.815	14/05/2010	14/05/2010	6,10	139,00	145,10	ME
10	1	35.897	20/05/2010	20/05/2010	6,83	329,17	336,00	ME
10	1	38.235	03/06/2010	03/06/2010	7,00	185,50	192,50	ME
10	1	44.252	11/06/2010	11/06/2010	2,83	597,17	600,00	ME
10	1	74.349	06/07/2010	06/07/2010	5,17	162,83	168,00	EL
10	1	52.851	13/07/2010	13/07/2010	3,75	701,17	704,92	ME
10	1	54.738	11/08/2010	11/08/2010	1,00	952,62	953,62	ME
10	1	62.682	20/09/2010	20/09/2010	6,77	21,70	28,47	ME
10	1	74.217	21/09/2010	21/09/2010	1,00	96,00	97,00	EL
10	1	86.494	25/09/2010	25/09/2010	1,00	374,50	375,50	ME
10	1	78.324	11/10/2010	11/10/2010	7,00	89,50	96,50	ME
10	1	80.374	15/10/2010	15/10/2010	6,33	374,08	380,42	ME
10	1	97.687	31/10/2010	31/10/2010	1,25	105,34	106,59	ME
10	1	97.897	04/11/2010	04/11/2010	1,00	40,00	41,00	ME
10	1	85.027	06/11/2010	06/11/2010	2,75	581,92	584,67	ME
10	1	75.077	30/11/2010	30/11/2010	1,67	159,67	161,33	OP
10	1	86.955	07/12/2010	07/12/2010	2,92	161,44	164,35	ME
10	1	93.987	14/12/2010	14/12/2010	7,73	41,92	49,65	ME
10	1	95.796	16/12/2010	16/12/2010	3,17		3,17	ME

COMPRESOR ZR450 NUMERO 3								
AÑO	TIPO MTT0	ORDEN	FECHA ENTREGA	FECHA ENTREGA	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	24.400	30/03/2009	30/03/2009	6,74	501,30	508,04	ME
9	1	29.785	20/04/2009	20/04/2009	2,45	215,96	218,41	ME
9	1	31.939	29/04/2009	30/04/2009	25,71	425,83	451,54	ME
9	1	37.301	18/05/2009	19/05/2009	30,25	41,82	72,07	ME
9	1	37.674	21/05/2009	21/05/2009	3,26	1436,67	1439,93	ME
9	1	54.088	20/07/2009	20/07/2009	5,17	162,85	168,02	ME
9	1	55.839	27/07/2009	27/07/2009	6,15	261,66	267,81	ME
9	1	58.716	07/08/2009	12/08/2009	119,34	169,13	288,47	ME
9	1	61.850	19/08/2009	19/08/2009	1,87	380,93	382,80	ME
9	1	66.283	04/09/2009	04/09/2009	3,24	713,67	716,90	ME
9	1	75.014	04/10/2009	16/11/2009	1036,50	373,61	1410,11	ME
9	1	91.523	02/12/2009	03/12/2009	32,06	139,95	172,01	ME
9	1	93.451	09/12/2009	09/12/2009	7,05	664,82	671,87	EM
10	1	2.244	06/01/2010	06/01/2010	6,27	19,75	26,02	EM
10	1	2.419	07/01/2010	07/01/2010	3,50	1513,50	1517,00	EL
10	1	18.372	11/03/2010	11/03/2010	1,25	1096,35	1097,60	ME
10	1	33.909	26/04/2010	26/04/2010	3,57	214,61	218,17	ME
10	1	36.030	05/05/2010	05/05/2010	3,73	344,08	347,81	ME
10	1	40.065	19/05/2010	19/05/2010	1,25	156,17	157,42	ME
10	1	42.073	26/05/2010	26/05/2010	1,08	37,08	38,17	ME
10	1	42.255	28/05/2010	28/05/2010	0,85	240,40	241,25	EL
10	1	45.589	07/06/2010	07/06/2010	0,88	173,70	174,58	EL
10	1	46.517	14/06/2010	14/06/2010	5,75	182,17	187,92	ME
10	1	49.237	22/06/2010	22/06/2010	1,00	147,42	148,42	EL
10	1	49.685	28/06/2010	28/06/2010	5,00	186,67	191,67	ME
10	1	52.853	06/07/2010	06/07/2010	5,17	54,33	59,50	ME
10	1	53.160	08/07/2010	08/07/2010	3,08	1519,97	1523,06	ME
10	1	70.747	10/09/2010	10/09/2010	2,44	406,50	408,94	EL
10	1	74.844	27/09/2010	27/09/2010	5,67	186,83	192,50	ME
10	1	77.091	05/10/2010	05/10/2010	1,83	46,00	47,83	ME
10	1	78.164	07/10/2010	07/10/2010	5,33	218,50	223,83	ME
10	1	80.373	16/10/2010	16/10/2010	1,17	247,92	249,08	ME
10	1	84.235	27/10/2010	27/10/2010	1,08	126,17	127,25	ME
10	1	84.759	01/11/2010	01/11/2010	5,33	883,45	888,79	ME
10	1	95.886	08/12/2010	10/12/2010	58,55	926,17	984,71	ME
10	1	99.435	18/01/2011	18/01/2011	1,17			ME

COMPRESOR ZA (NÚMERO 6)								
AÑO	TIPO MITTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MITTO	FECHA ENTREGA MITTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	6.721	27/01/2009	27/01/2009	3,25	1988,75	1992,00	ME
9	1	29.780	20/04/2009	20/04/2009	2,17	357,83	360,00	ME
9	1	33.602	05/05/2009	05/05/2009	6,17	838,52	844,68	ME
9	1	43.187	09/06/2009	09/06/2009	1,65	209,67	211,32	ME
9	1	45.585	18/06/2009	18/06/2009	6,17	6305,33	6311,50	ME
10	1	19.448	08/03/2010	08/03/2010	6,75	161,75	168,50	ME
10	1	21.369	15/03/2010	15/03/2010	2,42	213,58	216,00	ME
10	1	24.494	24/03/2010	24/03/2010	6,17	41,67	47,83	ME
10	1	24.765	26/03/2010	26/03/2010	1,78	262,38	264,17	ME
10	1	28.169	06/04/2010	06/04/2010	5,17	1218,33	1223,50	ME
10	1	40.151	27/05/2010	27/05/2010	2,33	813,67	816,00	ME
10	1	49.686	30/06/2010	30/06/2010	4,75	19,75	24,50	ME
10	1	51.348	01/07/2010	01/07/2010	6,33	2033,67	2040,00	ME
10	1	74.841	24/09/2010	24/09/2010	2,17	984,00	986,17	ME
10	1	86.495	04/11/2010	04/11/2010	1,50	1797,08	1798,58	ME
11	1	6.243	18/01/2011	18/01/2011	2,58			ME

TABLAS DE TIEMPOS DE MANTENIMIENTO COMPRESORES DE SALA DE COMPLEJO II

COMPRESOR ZR-5A (NUMERO 1)								
AÑO	TIPO MITTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MITTO	FECHA ENTREGA MITTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	1.626	05/01/2009	05/01/2009	5,83	41,67	47,50	ME
9	1	2.412	07/01/2009	07/01/2009	3,00	213,50	216,50	ME
9	1	5.238	16/01/2009	16/01/2009	5,50	68,71	74,21	ME
9	1	5.902	19/01/2009	19/01/2009	3,96	257,66	261,62	ME
9	1	8.378	30/01/2009	30/01/2009	3,42	116,75	120,17	ME
9	1	8.377	04/02/2009	04/02/2009	6,25	138,33	144,58	ME
9	1	11.722	10/02/2009	10/02/2009	5,50	809,50	815,00	EL
9	1	20.274	16/03/2009	16/03/2009	4,67	859,75	864,42	ME
9	1	29.327	21/04/2009	24/04/2009	77,33	119,29	196,62	ME
9	1	31.942	29/04/2009	04/05/2009	118,54	96,50	215,04	ME
9	1	34.607	08/05/2009	08/05/2009	1,58	166,66	168,25	ME
9	1	36.406	15/05/2009	15/05/2009	1,59	330,19	331,78	ME
9	1	39.876	29/05/2009	03/06/2009	125,81	356,33	482,14	ME
9	1	45.570	18/06/2009	18/06/2009	2,83	669,92	672,75	ME
9	1	52.304	16/07/2009	16/07/2009	0,58	313,32	313,90	NE
9	1	56.157	29/07/2009	29/07/2009	1,43	79,43	80,86	ME
9	1	57.131	01/08/2009	03/08/2009	36,82	165,83	202,65	ME
9	1	59.034	10/08/2009	10/08/2009	5,17	163,47	168,63	ME
9	1	61.573	17/08/2009	17/08/2009	0,37	409,95	410,32	ME
9	1	65.937	03/09/2009	03/09/2009	1,21	19,33	20,55	ME
9	1	65.935	04/09/2009	04/09/2009	3,83	93,00	96,83	ME
9	1	67.684	08/09/2009	08/09/2009	3,42	356,75	360,17	ME
9	1	71.966	23/09/2009	23/09/2009	5,92	352,28	358,20	ME
9	1	76.014	08/10/2009	08/10/2009	7,30	186,00	193,30	ME
9	1	78.182	16/10/2009	16/10/2009	3,25	145,88	149,13	ME
9	1	80.074	22/10/2009	22/10/2009	0,03	601,10	601,13	RE
9	1	87.428	16/11/2009	18/11/2009	47,60	656,09	703,69	ME
9	1	95.569	15/12/2009	16/12/2009	15,37	957,24	972,62	NE
10	1	8.238	25/01/2010	25/01/2010	4,01	208,42	212,42	RE
10	1	6.311	03/02/2010	03/02/2010	5,25	787,25	792,50	ME
10	1	15.358	08/03/2010	08/03/2010	5,58	167,02	172,60	ME

CONTINUACIÓN TABLA DE COMPRESOR ZR-5A (NUMERO 1)								
10	1	22.402	15/03/2010	15/03/2010	1,90	498,00	499,90	ME
10	1	28.063	05/04/2010	05/04/2010	3,58	284,42	288,00	ME
10	1	31.116	17/04/2010	17/04/2010	4,67	393,24	397,91	EL
10	1	35.860	03/05/2010	04/05/2010	13,59	69,56	83,15	EL
10	1	36.408	07/05/2010	07/05/2010	2,44	404,00	406,44	ME
10	1	40.888	24/05/2010	24/05/2010	3,67	73,47	77,13	ME
10	1	42.198	27/05/2010	27/05/2010	1,03	115,33	116,37	ME
10	1	43.958	01/06/2010	01/06/2010	4,50	33,17	37,67	ME
10	1	44.130	02/06/2010	03/06/2010	1,50	7,50	9,00	ME
10	1	44.207	03/06/2010	03/06/2010	5,75	258,58	264,33	ME
10	1	45.585	14/06/2010	14/06/2010	6,33	1255,60	1261,93	ME
10	1	60.864	05/08/2010	06/08/2010	13,23	768,80	782,04	ME
10	1	70.412	07/09/2010	07/09/2010	1,78	216,22	218,00	EL
10	1	72.704	16/09/2010	16/09/2010	2,28	481,33	483,62	ME
10	1	78.322	06/10/2010	06/10/2010	1,42	13,00	14,42	ME
10	1	78.327	07/10/2010	07/10/2010	2,67	144,17	146,83	ME
10	1	80.179	13/10/2010	13/10/2010	1,33	45,67	47,00	ME
10	1	80.489	15/10/2010	15/10/2010	1,83	236,50	238,33	EL
10	1	83.961	25/10/2010	25/10/2010	5,08	132,08	137,17	ME
10	1	85.028	31/10/2010	31/10/2010	1,08	213,08	214,17	ME
10	1	88.197	08/11/2010	09/11/2010	1,00	49,17	50,17	EL
10	1	88.312	11/11/2010	11/11/2010	1,00	509,33	510,33	ME
10	1	90.334	02/12/2010	03/12/2010	29,42	66,17	95,58	ME
10	1	94.503	06/12/2010	06/12/2010	3,67	20,75	24,42	ME
10	1	81.951	07/12/2010	07/12/2010	6,25	914,67	920,92	ME
11	1	4.850	14/01/2011	14/01/2011	1,42	21,08	22,50	OP
11	1	4.937	15/01/2011	15/01/2011	1,08	232,67	233,75	OP
11	1	8.127	25/01/2011	25/01/2011	3,42	14,33	17,75	IN
11	1	8.177	26/01/2011	26/01/2011	1,08	12,83	13,92	OP
11	1	8.325	26/01/2011	26/01/2011	1,00	20,91	21,91	EL
11	1	8.442	27/01/2011	27/01/2011	1,18	23,58	24,76	IN
11	1	8.999	28/01/2011	28/01/2011	1,00	43,83	44,83	EL
11	1	9.107	30/01/2011	30/01/2011	1,33	18,92	20,25	IN
11	1	10.140	31/01/2011	31/01/2011	1,05			ME

COMPRESOR ZR-5A (NUMERO 2)								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	846	02/01/2009	02/01/2009	3,42	70,58	74,00	ME
9	1	2.239	05/01/2009	05/01/2009	3,50	44,50	48,00	ME
9	1	2.309	07/01/2009	07/01/2009	4,17	114,83	119,00	ME
9	1	3.531	12/01/2009	12/01/2009	4,17	691,50	695,67	ME
9	1	7.880	10/02/2009	10/02/2009	6,58	65,75	72,33	ME
9	1	11.923	13/02/2009	13/02/2009	3,33	813,14	816,47	ME
9	1	21.026	19/03/2009	19/03/2009	5,36	136,52	141,88	ME
9	1	22.817	25/03/2009	25/03/2009	4,82	1055,17	1059,98	ME
9	1	34.608	08/05/2009	08/05/2009	1,25	116,42	117,67	ME
9	1	35.494	13/05/2009	13/05/2009	5,17	434,87	440,04	ME
9	1	40.642	31/05/2009	31/05/2009	0,04	111,92	111,96	IN
9	1	41.853	05/06/2009	12/06/2009	173,17	114,50	287,67	ME
9	1	45.211	17/06/2009	17/06/2009	1,33	124,60	125,93	ME
9	1	46.856	22/06/2009	22/06/2009	1,05	1073,35	1074,40	ME
9	1	57.132	06/08/2009	06/08/2009	2,58	93,42	96,00	ME
9	1	59.033	10/08/2009	10/08/2009	3,00	163,30	166,30	ME
9	1	61.518	17/08/2009	17/08/2009	6,70	406,10	412,81	ME
9	1	65.944	03/09/2009	03/09/2009	2,56	18,33	20,90	ME
9	1	65.806	04/09/2009	04/09/2009	5,17	522,83	528,00	ME
9	1	72.945	26/09/2009	26/09/2009	3,67	978,54	982,21	ME
9	1	84.219	06/11/2009	06/11/2009	5,21	69,58	74,79	ME
9	1	78.134	09/11/2009	09/11/2009	3,25	249,70	252,95	RE
9	1	87.995	19/11/2009	20/11/2009	12,22	747,14	759,36	ME
9	1	97.213	21/12/2009	21/12/2009	0,04	764,23	764,27	RE
10	1	6.783	22/01/2010	22/01/2010	3,00	69,95	72,95	ME
10	1	8.237	25/01/2010	28/01/2010	71,80	1030,17	1101,96	RE
10	1	20.951	12/03/2010	12/03/2010	2,75	92,75	95,50	RE
10	1	18.377	16/03/2010	16/03/2010	2,25	650,66	652,91	ME
10	1	29.997	12/04/2010	12/04/2010	1,67	594,62	596,29	ME
10	1	36.412	07/05/2010	07/05/2010	2,80	1615,67	1618,46	ME
10	1	54.785	13/07/2010	13/07/2010	3,00	132,00	135,00	ME
10	1	56.629	19/07/2010	19/07/2010	1,00	311,58	312,58	EL
10	1	59.382	01/08/2010	01/08/2010	1,50	248,08	249,58	EL
10	1	62.683	11/08/2010	11/08/2010	1,08	1019,42	1020,50	ME
10	1	74.472	23/09/2010	23/09/2010	1,42	92,75	94,17	ME
10	1	74.471	27/09/2010	07/11/2010	990,22	18,28	1008,50	ME
10	1	88.171	08/11/2010	09/11/2010	33,25	310,92	344,17	ME
10	1	91.926	22/11/2010	22/11/2010	3,08	492,75	495,83	ME
10	1	97.627	13/12/2010	13/12/2010	4,83	17,22	22,05	ME
10	1	97.685	14/12/2010	14/12/2010	5,53	810,21	815,73	EL
11	1	6.078	17/01/2011	17/01/2011	3,29	238,92	242,21	EL
10	1	97.686	27/01/2011	27/01/2011	11,17	84,67	95,83	EL
11	1	9.106	31/01/2011	31/01/2011	3,33			ME

COMPRESOR ZR-5A (NUMERO 3)								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	8.167	29/01/2009	29/01/2009	2,02	165,75	167,77	RE
9	1	8.380	05/02/2009	05/02/2009	5,75	115,12	120,87	ME
9	1	11.721	10/02/2009	10/02/2009	2,55	141,08	143,63	ME
9	1	13.433	16/02/2009	16/02/2009	5,50	66,00	71,50	ME
9	1	13.784	19/02/2009	19/02/2009	2,58	1101,42	1104,00	ME
9	1	25.335	06/04/2009	06/04/2009	5,17	164,25	169,42	ME
9	1	28.019	13/04/2009	13/04/2009	4,50	89,97	94,47	ME
9	1	28.759	17/04/2009	17/04/2009	3,28	68,97	72,25	ME
9	1	29.792	20/04/2009	20/04/2009	0,20	1,82	2,02	ME
9	1	29.795	20/04/2009	20/04/2009	4,18	689,67	693,85	ME
9	1	37.440	19/05/2009	19/05/2009	1,92	310,08	312,00	ME
9	1	41.154	01/06/2009	08/06/2009	173,67	94,51	268,18	ME
9	1	44.024	12/06/2009	12/06/2009	2,16	423,89	426,05	ME
9	1	48.716	30/06/2009	30/06/2009	7,11	380,15	387,26	ME
9	1	52.658	16/07/2009	16/07/2009	1,19	141,33	142,52	ME
9	1	54.356	22/07/2009	22/07/2009	3,83	168,69	172,52	ME
9	1	56.158	29/07/2009	29/07/2009	0,81	43,78	44,60	ME
9	1	56.696	31/07/2009	31/07/2009	1,55	0,45	2,00	EL
9	1	56.775	31/07/2009	31/07/2009	2,30	280,68	282,98	ME
9	1	59.891	12/08/2009	12/08/2009	5,49	43,42	48,90	ME
9	1	60.293	14/08/2009	14/08/2009	8,00	476,02	484,02	ME
9	1	65.939	03/09/2009	03/09/2009	1,15	1267,83	1268,98	ME
9	1	80.772	26/10/2009	26/10/2009	2,25	370,84	373,09	ME
9	1	85.677	10/11/2009	13/11/2009	64,33	231,99	296,32	ME
9	1	89.271	23/11/2009	23/11/2009	7,76	205,04	212,80	ME
9	1	91.525	02/12/2009	03/12/2009	32,13	93,67	125,80	ME
9	1	93.244	07/12/2009	07/12/2009	3,17	714,84	718,01	ME
10	1	2.245	06/01/2010	06/01/2010	5,99	1796,00	1801,99	ME
10	1	24.397	22/03/2010	22/03/2010	3,25	1018,63	1021,88	ME
10	1	35.859	03/05/2010	05/05/2010	39,45	306,17	345,62	ME
10	1	38.601	18/05/2010	18/05/2010	4,67	321,75	326,42	ME
10	1	43.973	31/05/2010	31/05/2010	0,25	33,83	34,08	EL
10	1	43.993	02/06/2010	02/06/2010	3,17	20,83	24,00	ME
10	1	44.206	03/06/2010	04/06/2010	35,17	228,83	264,00	ME
10	1	40.889	14/06/2010	14/06/2010	2,83	57,83	60,67	EL
10	1	47.662	16/06/2010	16/06/2010	1,00	33,75	34,75	EL
10	1	47.759	18/06/2010	18/06/2010	1,08	160,58	161,67	ME
10	1	49.730	25/06/2010	25/06/2010	1,42	5,50	6,92	IN
10	1	43.960	25/06/2010	25/06/2010	4,17	115,33	119,50	ME
10	1	51.135	30/06/2010	30/06/2010	3,67	92,33	96,00	ME
10	1	51.751	04/07/2010	04/07/2010	2,25	217,33	219,58	ME
10	1	54.755	13/07/2010	13/07/2010	1,08	19,83	20,92	IN
10	1	54.786	14/07/2010	14/07/2010	1,17	214,67	215,83	ME
10	1	56.971	23/07/2010	23/07/2010	2,33	134,42	136,75	ME
10	1	59.027	29/07/2010	29/07/2010	1,08	803,19	804,28	ME
10	1	68.394	31/08/2010	31/08/2010	2,22	21,30	23,52	ME
10	1	68.524	01/09/2010	01/09/2010	1,70	42,77	44,47	ME
10	1	68.829	03/09/2010	03/09/2010	2,23	68,18	70,42	ME
10	1	70.217	06/09/2010	06/09/2010	2,48	550,25	552,73	ME
10	1	74.465	29/09/2010	29/09/2010	1,67	508,08	509,75	NE
10	1	82.163	20/10/2010	20/10/2010	1,25	115,00	116,25	EL
10	1	82.866	25/10/2010	25/10/2010	2,33	96,17	98,50	ME
10	1	84.531	29/10/2010	29/10/2010	1,50	1,67	3,17	EL
10	1	84.944	29/10/2010	29/10/2010	1,00	68,40	69,40	ME
10	1	86.087	01/11/2010	01/11/2010	0,96	121,72	122,68	IN
10	1	86.935	06/11/2010	06/11/2010	2,00	900,28	902,28	ME
10	1	97.684	14/12/2010	14/12/2010	7,88	1058,92	1066,80	ME
11	1	8.468	27/01/2011	27/01/2011	1,17			EL

COMPRESOR ZR-5A (NUMERO 4)								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MITTO	FECHA ENTREGA MITTO-PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	9.876	05/02/2009	05/02/2009	3,25	597,25	600,50	ME
9	1	16.626	02/03/2009	02/03/2009	5,25	544,62	549,87	ME
9	1	22.818	25/03/2009	25/03/2009	6,88	114,75	121,63	ME
9	1	24.399	30/03/2009	30/03/2009	3,00	721,50	724,50	ME
9	1	31.941	29/04/2009	04/05/2009	121,67	185,83	307,50	ME
9	1	35.493	12/05/2009	12/05/2009	3,58	308,42	312,00	ME
9	1	39.320	25/05/2009	25/05/2009	3,33	332,67	336,00	ME
9	1	41.894	08/06/2009	08/06/2009	5,75	353,92	359,67	ME
9	1	46.891	23/06/2009	23/06/2009	4,33	692,00	696,33	ME
9	1	54.358	22/07/2009	22/07/2009	5,17	694,91	700,07	ME
9	1	61.986	20/08/2009	20/08/2009	2,51	17,49	20,00	EL
9	1	62.087	21/08/2009	21/08/2009	6,09	425,83	431,93	ME
9	1	67.686	08/09/2009	08/09/2009	3,17	385,17	388,33	ME
9	1	71.893	24/09/2009	24/09/2009	0,58	329,79	330,38	ME
9	1	76.015	08/10/2009	08/10/2009	3,96	645,33	649,29	ME
9	1	82.074	04/11/2009	04/11/2009	5,17	184,85	190,01	ME
9	1	85.851	12/11/2009	12/11/2009	4,32	283,59	287,91	ME
9	1	89.437	24/11/2009	24/11/2009	5,33	236,75	242,08	ME
9	1	92.027	04/12/2009	04/12/2009	2,17	115,84	118,01	ME
9	1	93.448	09/12/2009	09/12/2009	7,33	1169,93	1177,26	NE
10	1	8.486	27/01/2010	30/01/2010	74,73	454,00	528,73	EL
10	1	14.754	18/02/2010	18/02/2010	5,33	137,01	142,34	ME
10	1	16.550	24/02/2010	24/02/2010	5,08	115,77	120,85	EL
10	1	18.376	01/03/2010	01/03/2010	3,15	357,67	360,81	ME
10	1	20.815	16/03/2010	16/03/2010	4,33	1579,92	1584,25	ME
10	1	40.740	21/05/2010	21/05/2010	1,10	70,48	71,58	ME
10	1	40.091	24/05/2010	24/05/2010	2,92	170,50	173,42	ME
10	1	43.860	31/05/2010	31/05/2010	1,08	7,58	8,67	ME
10	1	43.974	31/05/2010	31/05/2010	0,25	99,58	99,83	EL
10	1	44.682	05/06/2010	05/06/2010	1,00	18,42	19,42	EL
10	1	44.706	05/06/2010	06/06/2010	4,83	20,83	25,67	EL
10	1	45.590	06/06/2010	07/06/2010	2,00	23,92	25,92	IN
10	1	45.703	08/06/2010	08/06/2010	1,00	50,92	51,92	IN
10	1	45.945	10/06/2010	10/06/2010	1,08	87,25	88,33	OP
10	1	46.534	13/06/2010	13/06/2010	1,25	42,58	43,83	ME
10	1	47.573	15/06/2010	15/06/2010	1,33	37,33	38,67	EL
10	1	47.680	17/06/2010	17/06/2010	5,83	18,67	24,50	ME
10	1	43.959	18/06/2010	18/06/2010	2,33	514,33	516,67	ME
10	1	53.343	09/07/2010	09/07/2010	1,50	84,50	86,00	EL
10	1	54.754	13/07/2010	13/07/2010	1,08	1823,58	1824,67	IN
10	1	59.381	27/09/2010	28/09/2010	28,33	72,83	101,17	ME
10	1	77.005	01/10/2010	01/10/2010	1,17	159,33	160,50	EL
10	1	78.767	08/10/2010	08/10/2010	1,00	334,00	335,00	EL
10	1	80.488	22/10/2010	22/10/2010	2,67	92,92	95,58	ME
10	1	82.865	26/10/2010	26/10/2010	5,67	236,00	241,67	ME
10	1	86.645	05/11/2010	05/11/2010	2,00	75,92	77,92	ME
10	1	88.170	08/11/2010	08/11/2010	7,08	1596,92	1604,00	ME
11	1	4.849	14/01/2011	14/01/2011	5,92	52,33	58,25	OP
11	1	5.034	16/01/2011	17/01/2011	11,59	27,33	38,92	EL
11	1	6.244	18/01/2011	18/01/2011	5,92	196,36	202,28	OP
11	1	8.326	26/01/2011	26/01/2011	0,32			EL

COMPRESOR ZA (NUMERO 5)								
AÑO	TIPO MTTO	ORDEN	FECHA ENTREGA PROD-MTTO	FECHA ENTREGA MTTO- PROD	TFS(Hrs)	TO(Hrs)	TEF(Hrs)	TIPO DE FALLA
9	1	4.264	13/01/2009	16/01/2009	76,92	331,95	408,87	ME
9	1	8.381	30/01/2009	17/02/2009	437,30	1026,83	1464,13	ME
9	1	25.032	01/04/2009	13/04/2009	287,08	0,92	288,00	ME
9	1	28.020	13/04/2009	13/04/2009	2,00	2734,63	2736,63	ME
9	1	57.945	05/08/2009	05/08/2009	4,70	114,67	119,37	ME
9	1	59.035	10/08/2009	12/08/2009	53,42	525,83	579,24	ME
9	1	65.950	03/09/2009	03/09/2009	0,92	334,83	335,76	ME
9	1	70.239	17/09/2009	17/09/2009	2,15	138,85	141,00	ME
9	1	71.967	23/09/2009	23/09/2009	6,42	1121,75	1128,17	ME
9	1	85.513	09/11/2009	09/11/2009	4,00	329,28	333,28	ME
9	1	89.272	23/11/2009	23/11/2009	5,56	573,35	578,90	ME
9	1	95.762	17/12/2009	17/12/2009	4,82	597,59	602,41	ME
10	1	4.205	11/01/2010	11/01/2010	3,24	739,16	742,40	ME
10	1	12.757	11/02/2010	22/02/2010	268,34	3413,67	3682,01	ME
10	1	54.899	14/07/2010	14/07/2010	1,83	1984,67	1986,50	ME
10	1	78.201	05/10/2010	05/10/2010	2,17	233,83	236,00	EL
10	1	80.375	15/10/2010	15/10/2010	4,50			ME

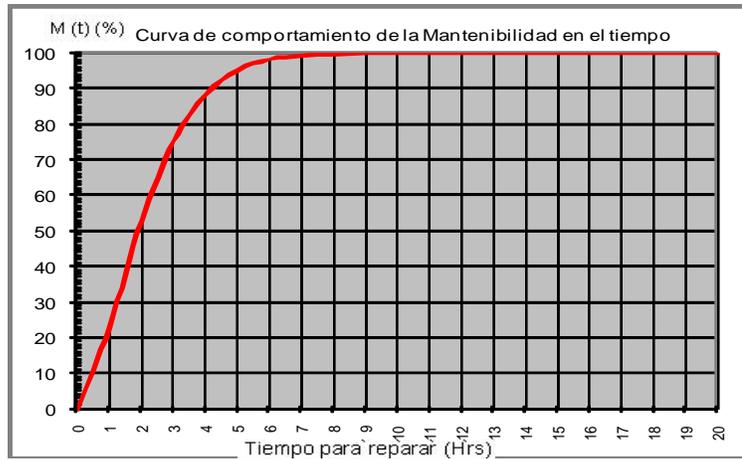
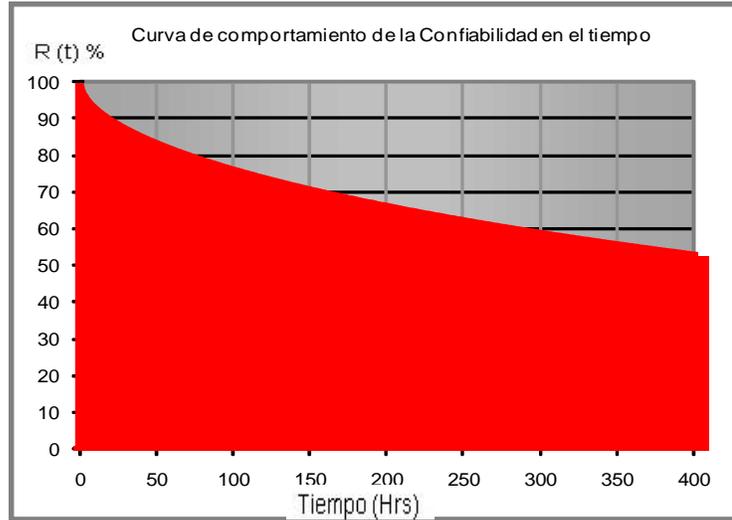


Apéndice D

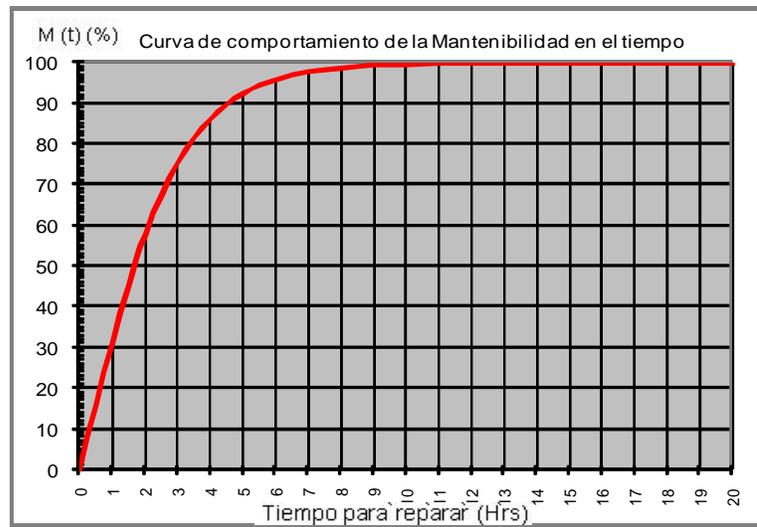
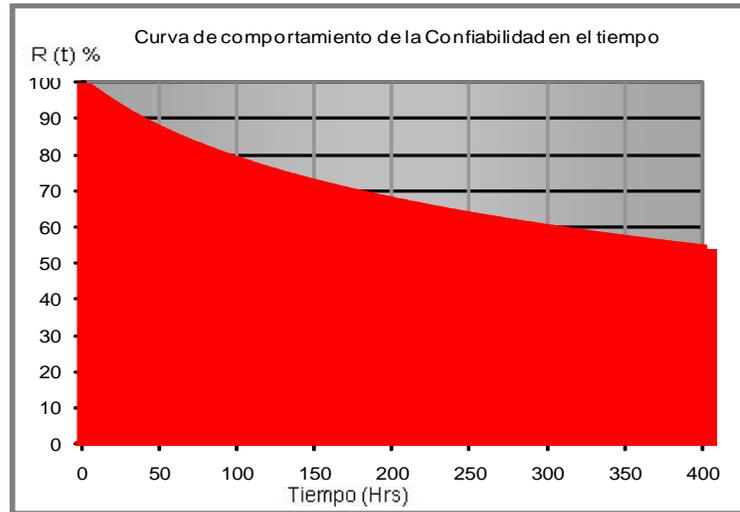
- Curvas de Comportamiento de Confiabilidad y Mantenibilidad de Compresores de Sala Facilidad 18
- Curvas de Comportamiento de Confiabilidad y Mantenibilidad de Compresores de Sala Complejo I
- Curvas de Comportamiento de Confiabilidad y Mantenibilidad de Compresores de Sala Complejo II

CURVAS DE COMPORTAMIENTO DE CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE COMPRESORES DE SALA FACILIDAD 18

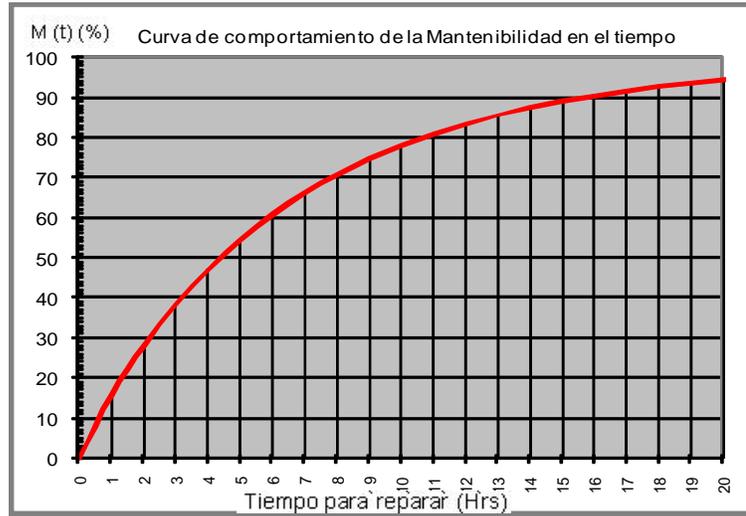
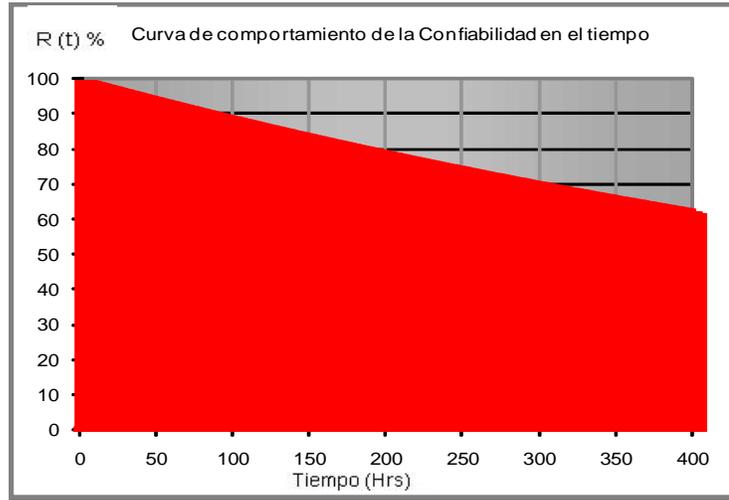
Compresor A1



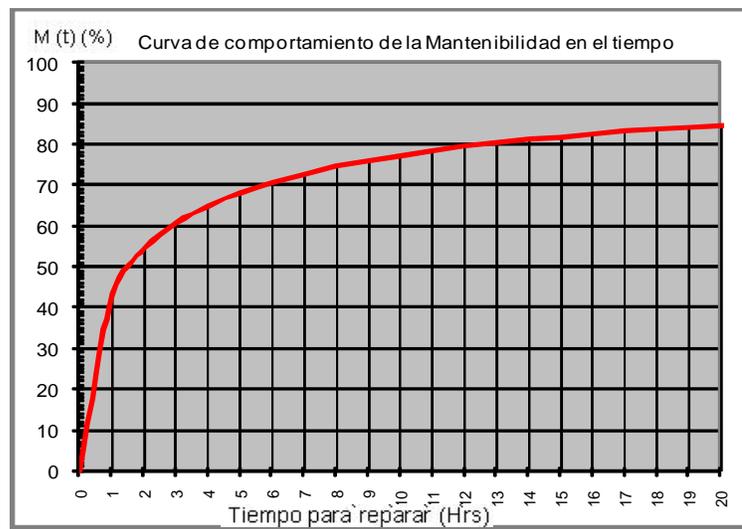
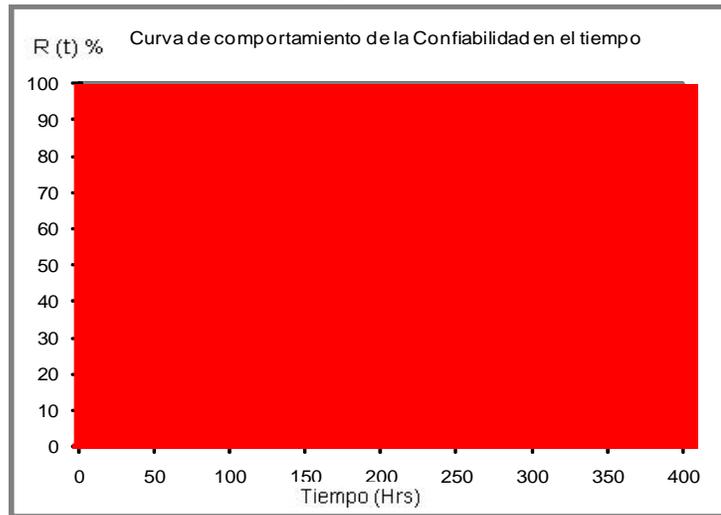
Compresor B2



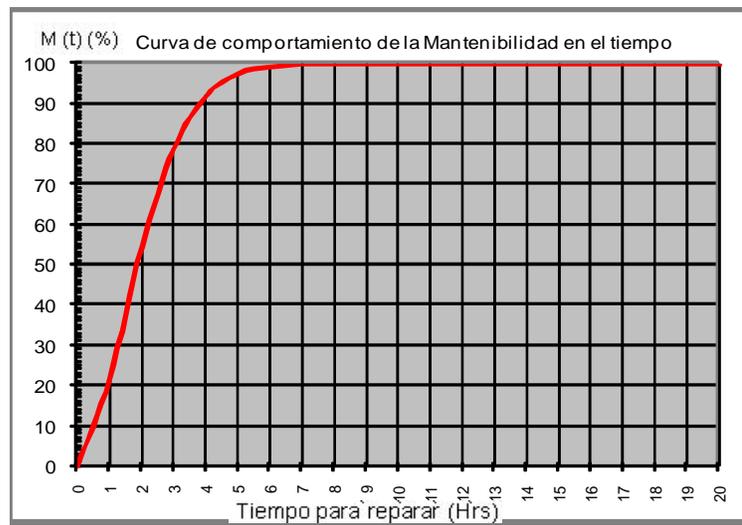
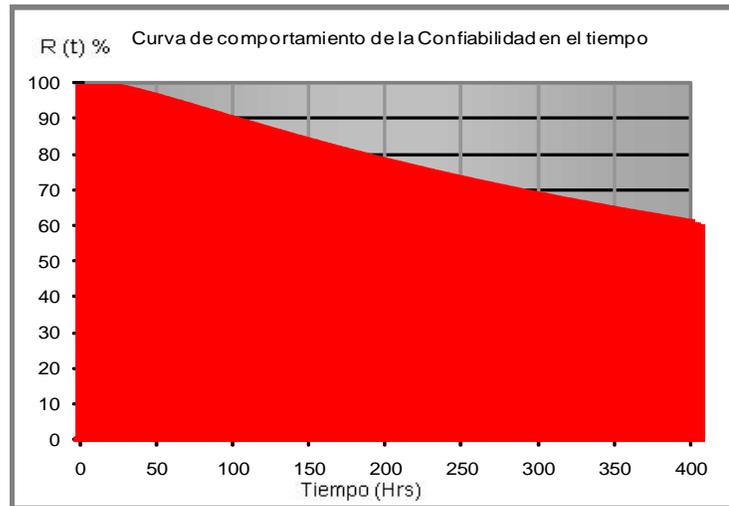
Compresor C3



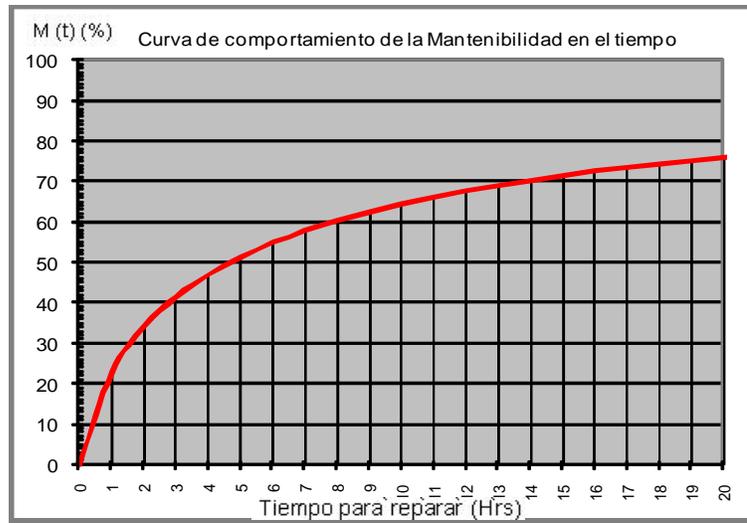
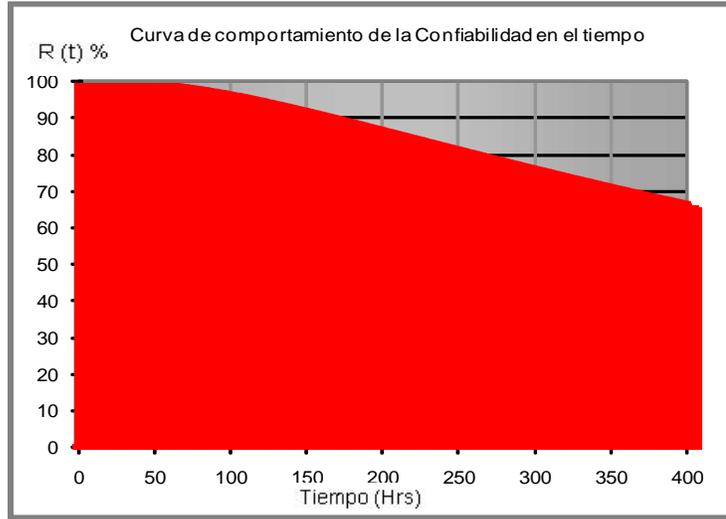
Compresor D4



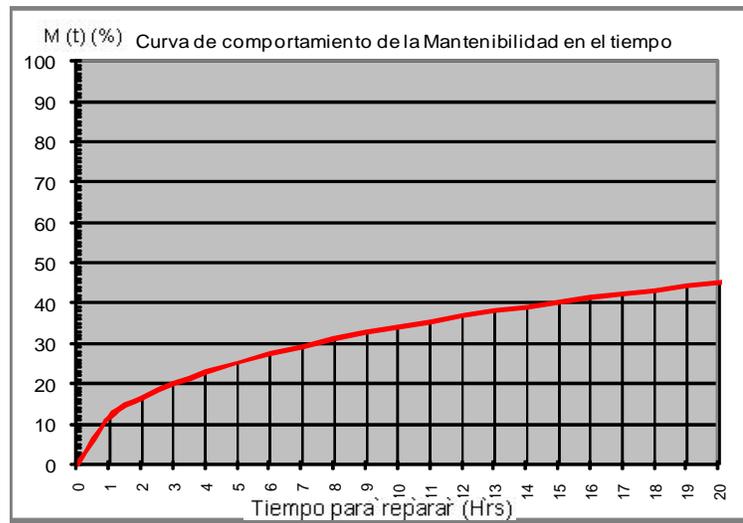
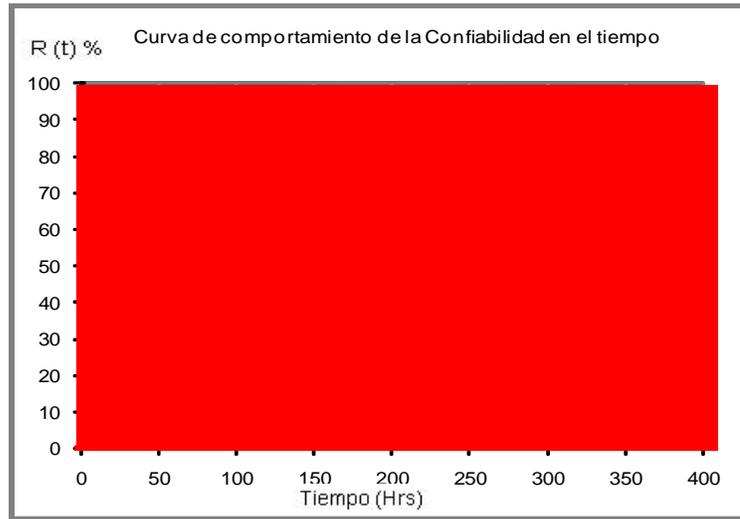
Compresor E5



Compresor F6

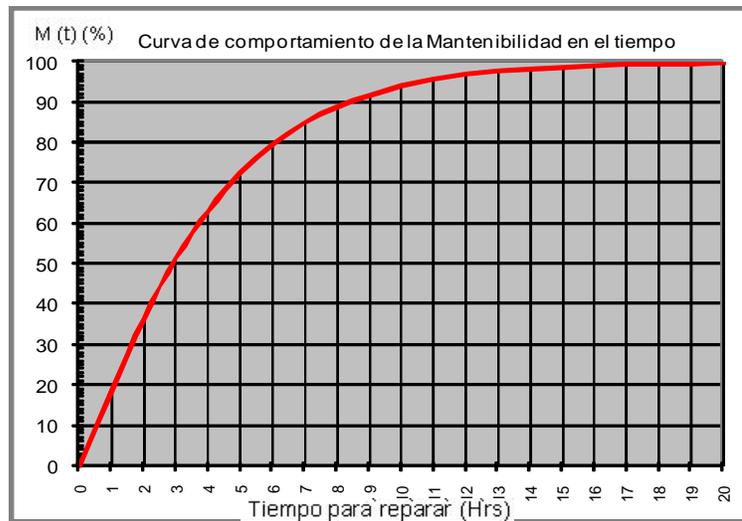
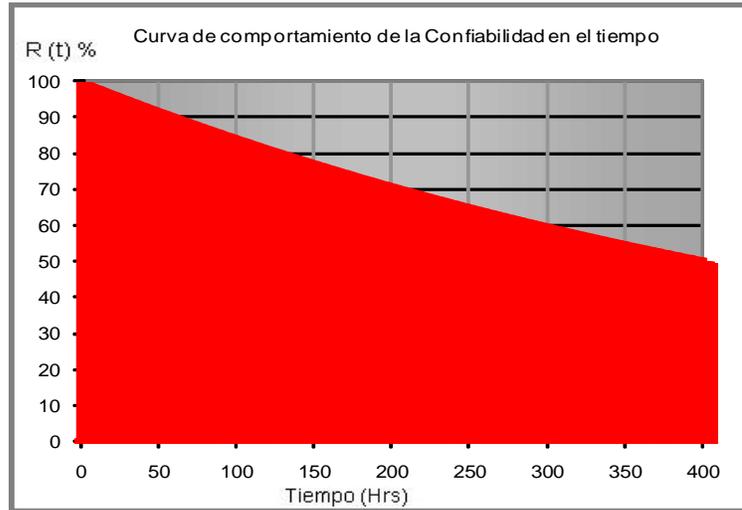


Compresor G7

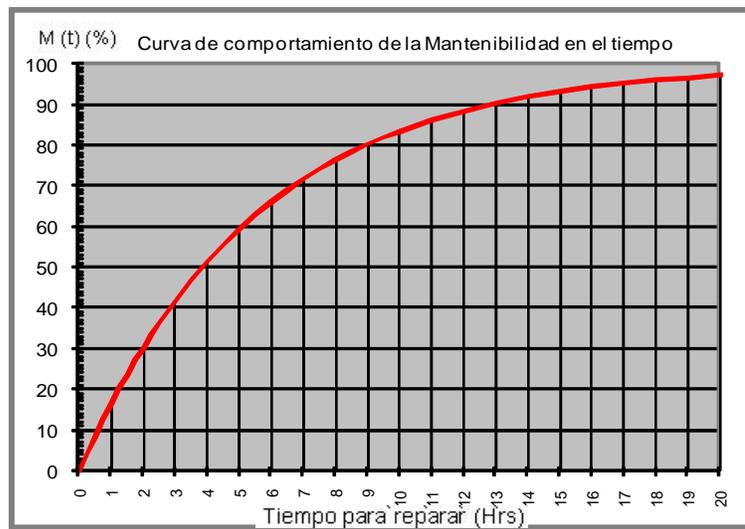
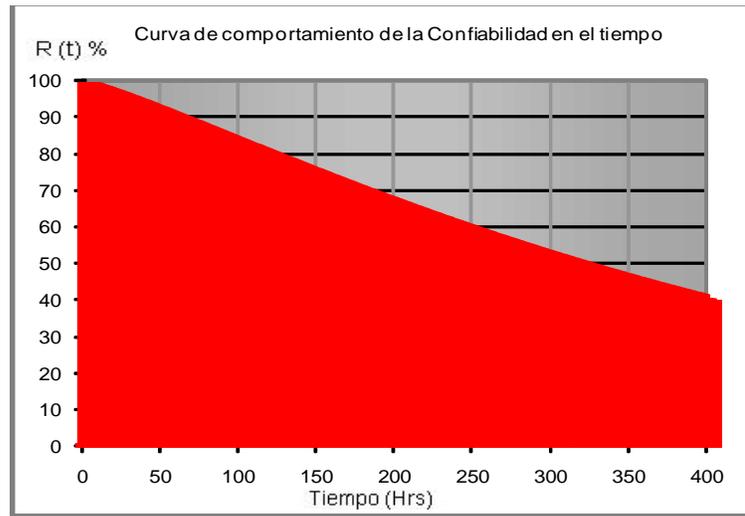


CURVAS DE COMPORTAMIENTO DE CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE COMPRESORES DE SALA COMPLEJO I

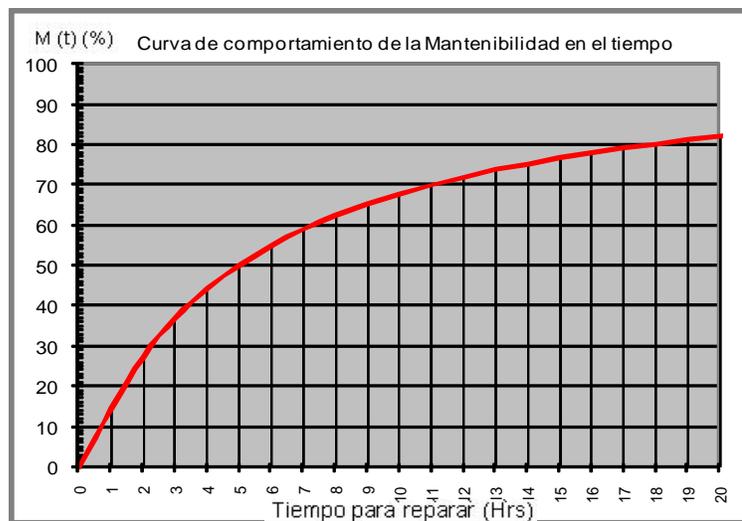
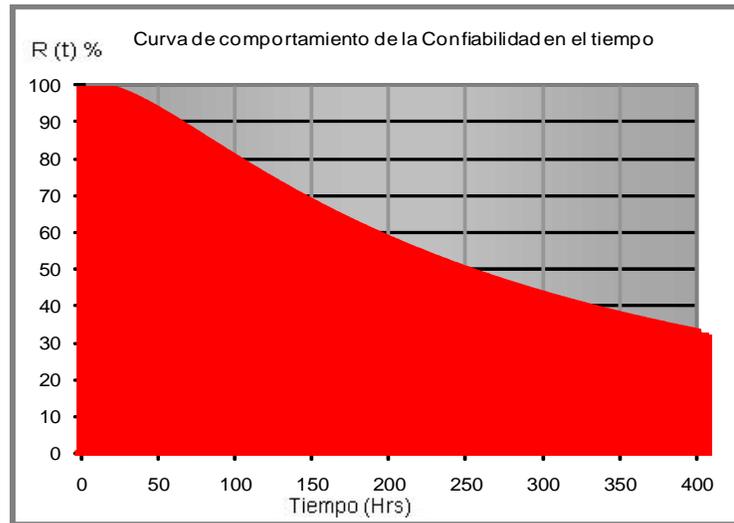
Compresor ZR-5A (Nº1)



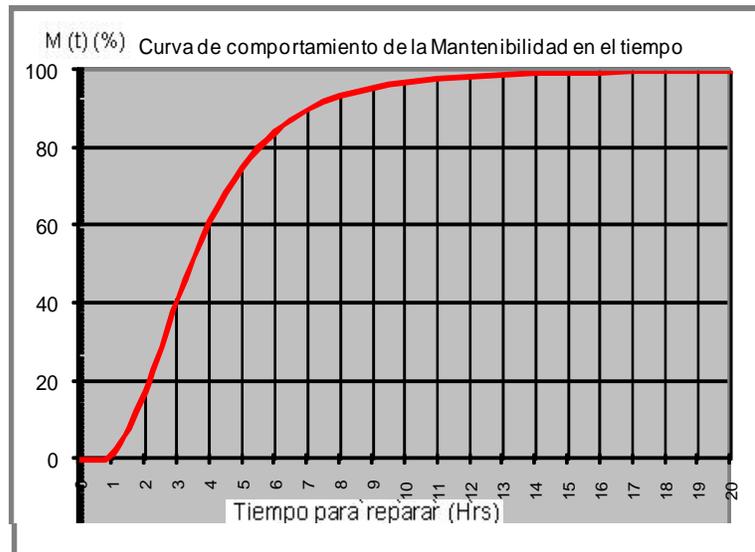
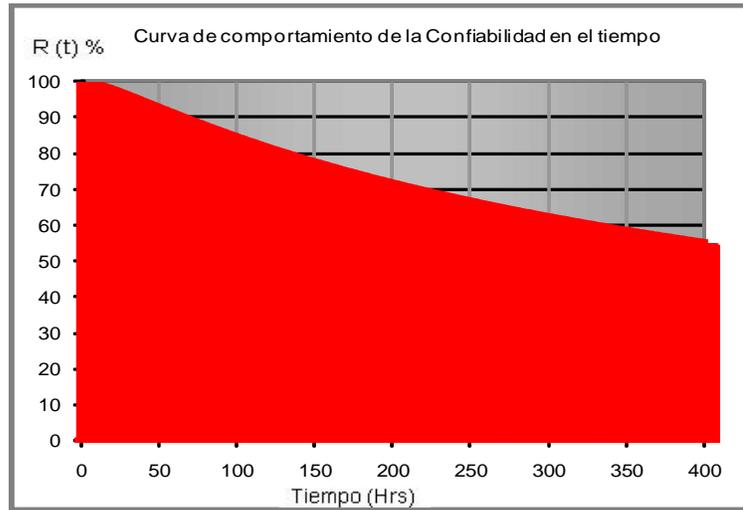
Compresor ZR-5A (N²)



Compresor ZR-450 (N°3)

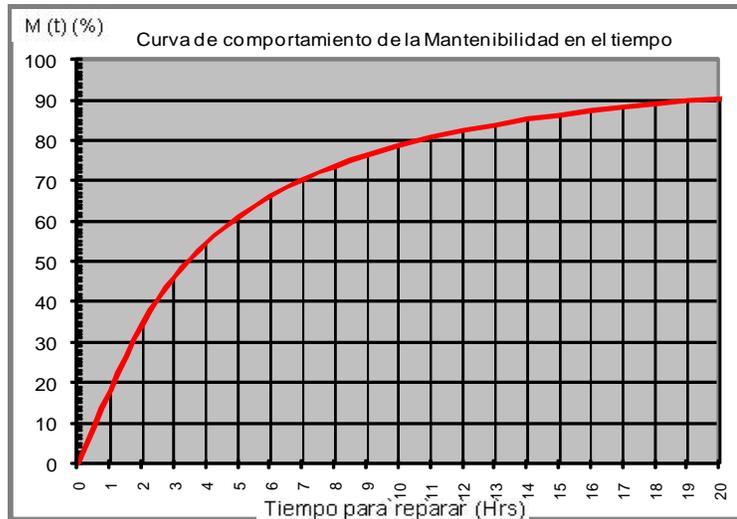
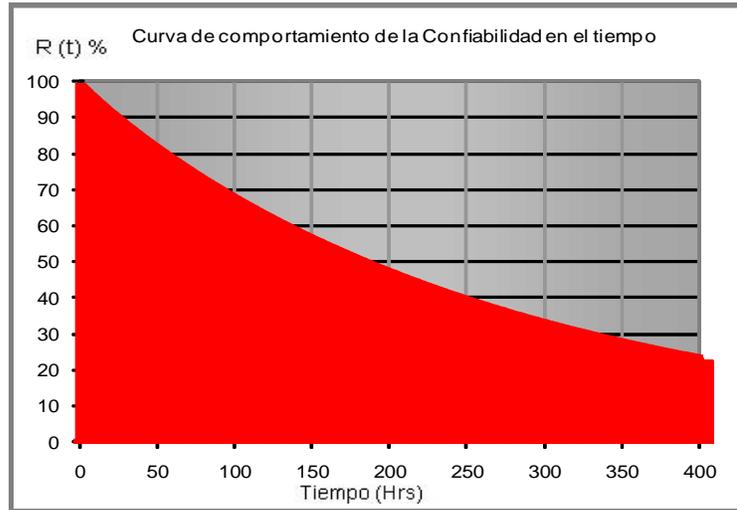


Compresor ZA

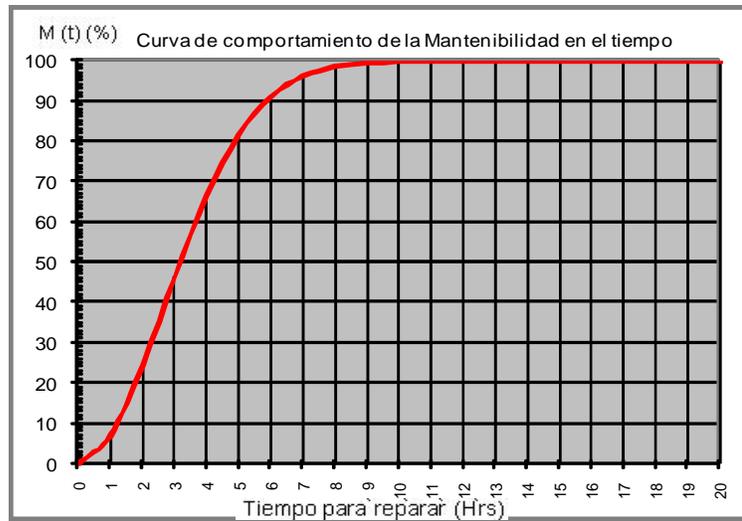
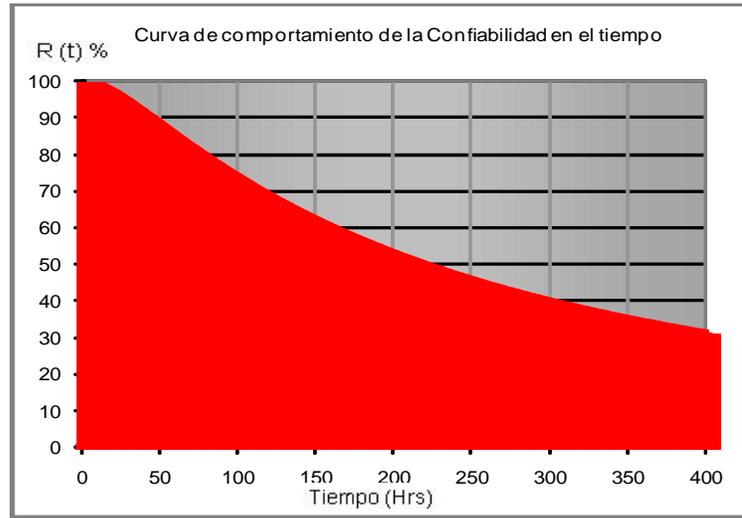


CURVAS DE COMPORTAMIENTO DE CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE COMPRESORES DE SALA COMPLEJO II

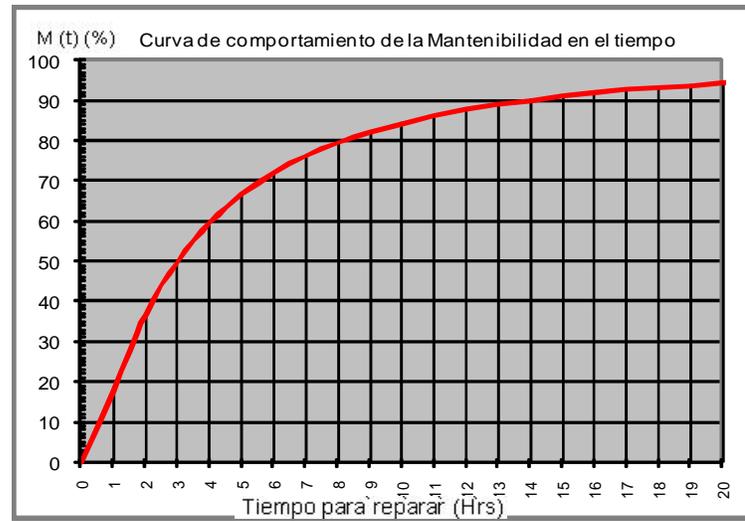
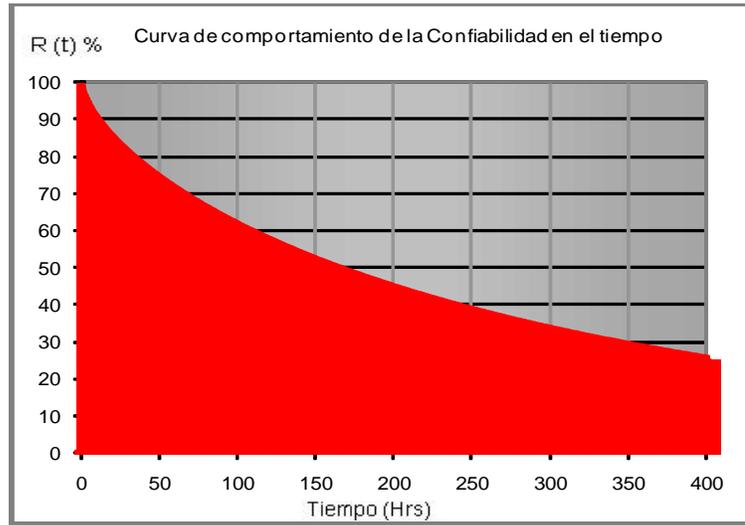
Compresor ZR-5A (Nº1)



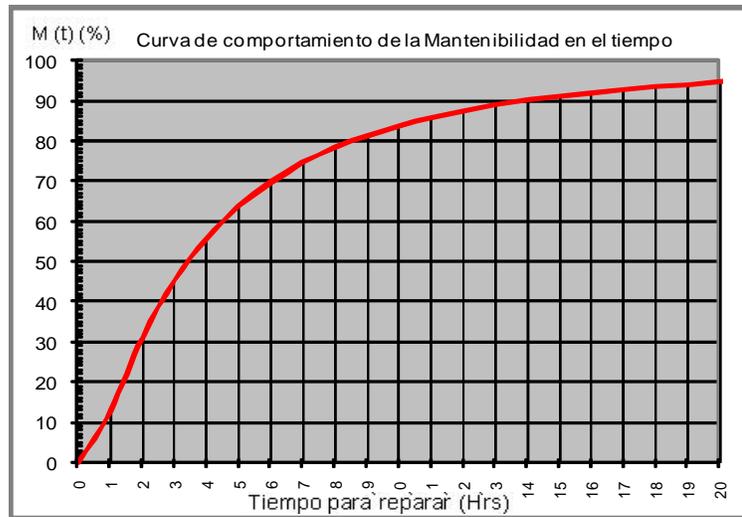
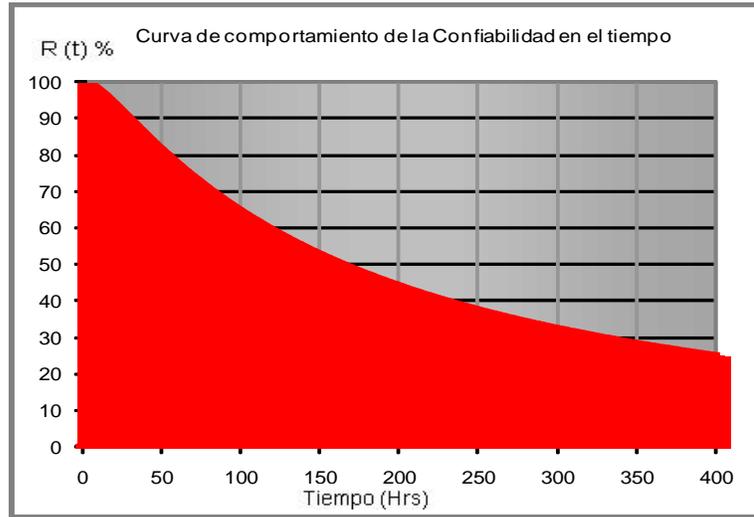
Compresor ZR- 5A (Nº2)



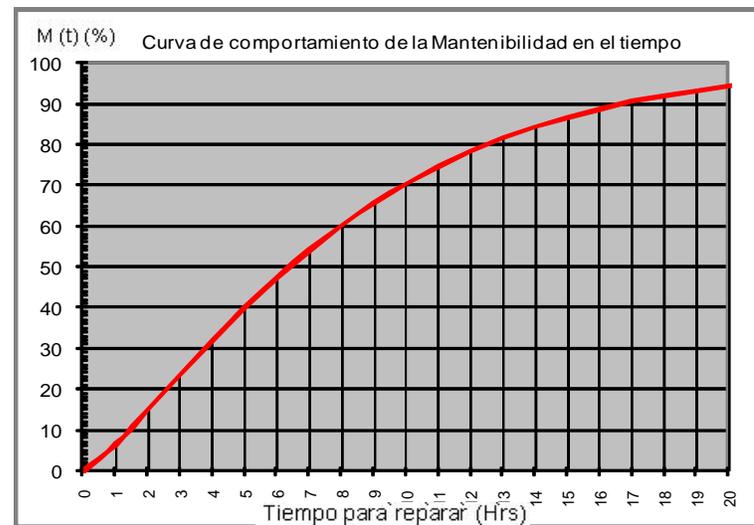
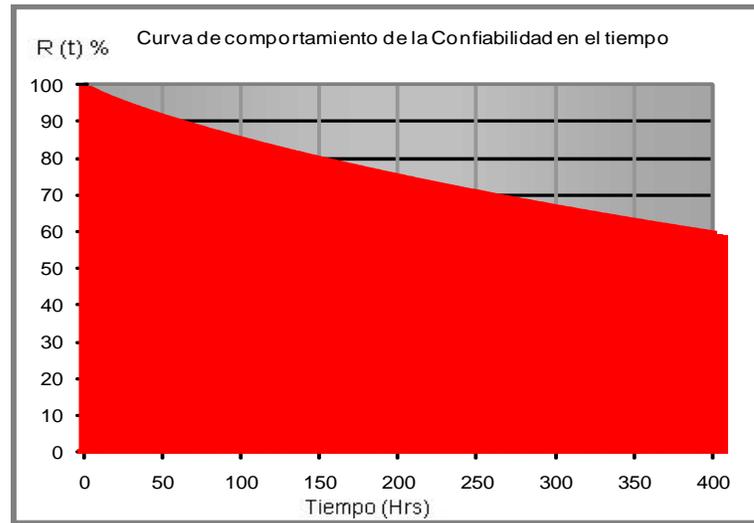
Compresor ZR- 5A (N°3)



Compresor ZR- 5A (N°4)



Compresor ZA (N°5)



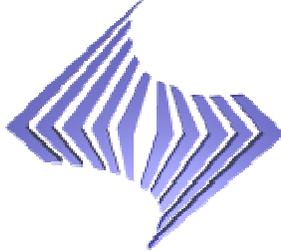


Apéndice E

- Tabla de Presiones Promedio de Salida de Compresores ZR y ZA (Marzo 2011)

**TABLA DE PRESIONES PROMEDIO DE SALIDA DE COMPRESORES
ZR Y ZA (MARZO 2011)**

MARZO 2011			
DÍA	PRESIÓN (Psi)		
	COMPLEJO I	COMPLEJO II	FACILIDAD 18
1	104	100	84
2	104	104	84
3	104	106	78
4	104	104	80
5	104	102	82
6	105	102	82
7	104	105	84
8	103	105	84
9	104	104	84
10	104	103	84
11	104	102	84
12	105	104	87
13	102	103	87
14	104	103	86
15	100	103	80
16	103	102	84
17	104	103	80
18	103	104	84
19	103	103	84
20	102	102	84
21	102	103	80
22	102	102	86
23	105	106	84
24	98	104	81
25	104	103	84
26	104	103	80
27	104	103	84
28	102	103	82
29	105	104	89
30	104	102	82
31	102	102	82
Promedio	103,29	103,19	83,23



Apéndice F

- Tablas de Consumo de Energía Eléctrica Situación Actual para cada una de las Salas Generadoras de Aire Comprimido.
- Tablas de Consumo de Energía Eléctrica Alternativa de Mejoramiento de cada una de las Salas Generadoras de Aire Comprimido.

TABLAS CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA SITUACIÓN ACTUAL

Consumo de Energía Eléctrica de Sala de Compresores Facilidad 18						
Modelo	Equipos en Funcionamiento	Potencia (KW)	Potencia Total (KW)	Horas día	Factor de Utilización	Consumo de Energía (KW-h/día)
Compresores Ingersoll Rand (500hp)	5	373	1865	24	1	44760
Compresores ZR-450	2	447	894	24	1	21456
Chiller (75 Hp)	1	56	56	24	0,5	672
Bombas (100 Hp)	2	75	149	24	0,50	1790,4
Ventiladores (30Hp)	1	22	22,38	24	1	537,12
Consumo de Energía (kwh-día)						69.215,52
Consumo de Energía (kwh-Año)						25.263.664,80
Consumo de Energía (Bs/Año)						2.759.297,47

Consumo de Energía Eléctrica Sala de Compresores Complejo I						
Modelo	Equipos Funcionamiento	Potencia (KW)	Potencia Total (KW)	Horas día	Factor de Utilización	Consumo de Energía (KW-h/día)
ZR-5A	2	486	972	24	1	23328
ZR-450	1	447	447	24	1	10728
ZA	1	244	244	24	1	5856
Bombas Torre ZR (15Hp)	6	11	66	24	0,8	1267,2
Bombas Torre ZR (10 Hp)	6	7,5	45	24	0,8	864
Bombas Torre ZA (9 Hp)	2	7	14	24	0,5	168
Bombas Torre ZA (7,5 Hp)	2	6	12	24	0,5	144
Ventiladores Torre ZR(6,6 Hp)	3	5	15	24	1	360
Ventiladores Torre ZA (6 Hp)	1	5	5	24	0,8	96
Sistema de Presurización (125 Hp)	1	93	93	24	1	2232
Secadoras China (30Hp)	2	22	44	24	1	1056
Secadoras FD 1600 (40 Hp)	2	29,84	59,68	24	1	1432,32
Consumo de Energía (kwh-día)						47.531,52
Consumo de Energía (kwh-Año)						17.349.004,80
Consumo de Energía (Bs/Año)						1.894.858,30

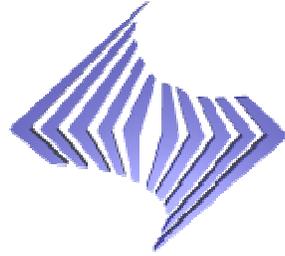
Consumo de Energía Eléctrica Sala de Compresores Complejo II						
Modelo	Equipos Instalados	Potencia (KW)	Potencia Total (KW)	Horas día	Factor de Utilización	Consumo de Energía (KW-h/día)
ZR-5A	4	486	1944	24	1	46656
ZA	1	244	244	24	1	5856
Bombas Torre ZR (15Hp)	8	11	88	24	0,5	1056
Bombas Torre ZR (10Hp)	8	7,5	60	24	0,5	720
Bombas Torre ZA(9Hp)	2	7	14	24	0,5	168
Bombas Torre ZA (7,5 Hp)	2	6	12	24	0,5	144
Ventiladores Torre ZR (6,6 Hp)	4	5	20	24	1	480
Ventiladores Torre ZA (6,6 Hp)	1	5	5	24	0,5	60
Sistema de Presurización (125 Hp)	1	93	93	24	1	2232
Secadoras China (30Hp)	2	22	44	24	0,5	528
Secadoras FD 1600 (40 Hp)	1	29,84	29,84	24	1	716,16
Consumo de Energía (kwh-día)						58.616,16
Consumo de Energía (kwh-Año)						21.394.898,40
Consumo de Energía (Bs/Año)						2.336.750,80

TABLAS CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA ALTERNATIVA MEJORAMIENTO DE SALAS

Consumo de Energía Eléctrica de Sala de Compresores Facilidad 18						
Modelo	Equipos en Funcionamiento	Potencia (KW)	Potencia Total (KW)	Horas día	Factor de Utilización	Consumo de Energía (KW-h/día)
Compresores Ingersoll Rand (500hp)	6	373	2238	24	1	53712
Compresores ZR-450	2	447	894	24	1	21456
Chiller (75 Hp)	2	56	112	24	1	2688
Bombas (100 Hp)	2	75	149	24	0,50	1790,4
Ventiladores (30Hp)	1	22	22,38	24	1	537,12
Extractores (10 Hp)	5	8	37,5	24	1	900
Consumo de Energía (kwh-día)						81.083,52
Consumo de Energía (kwh-Año)						29.595.484,80
Consumo de Energía (Bs/Año)						3.232.418,85

Consumo de Energía Eléctrica Sala de Compresores Complejo I						
Modelo	Equipos Funcionamiento	Potencia (KW)	Potencia Total (KW)	Horas día	Factor de Utilización	Consumo de Energía (KW-h/día)
ZR-5A	3	486	1458	24	1	34992
ZR-450	2	447	894	24	1	21456
ZA	1	244	244	24	1	5856
GA-90	2	90	180	24	1	4320
Bombas Torre ZR (15Hp)	10	11	110	24	0,8	2112
Bombas Torre ZR (10 Hp)	10	7,5	75	24	0,8	1440
Bombas Torre ZA (9 Hp)	2	7	14	24	0,5	168
Bombas Torre ZA (7,5 Hp)	2	6	12	24	0,5	144
Ventiladores Torre ZR(6,6 Hp)	5	5	25	24	1	600
Ventiladores Torre ZA (6 Hp)	1	5	5	24	0,8	96
Sistema de Presurización (125 Hp)	1	93	93	24	1	2232
Secadoras China (30Hp)	2	22	44	24	1	1056
Secadoras FD 1600 (40 Hp)	2	29,84	59,68	24	1	1432,32
Consumo de Energía (kwh-día)						75.904,32
Consumo de Energía (kwh-Año)						27.705.076,80
Consumo de Energía (Bs/Año)						3.025.948,49

Consumo de Energía Eléctrica Sala de Compresores Complejo II						
Modelo	Equipos Instalados	Potencia (KW)	Potencia Total (KW)	Horas día	Factor de Utilización	Consumo de Energía (KW-h/día)
ZR-5A	4	486	1944	24	1	46656
ZA	2	244	488	24	1	11712
GA-90	2	90	180	24	1	4320
Bombas Torre ZR (15Hp)	8	11	88	24	0,5	1056
Bombas Torre ZR (10Hp)	8	7,5	60	24	0,5	720
Bombas Torre ZA(9Hp)	4	7	28	24	0,5	336
Bombas Torre ZA (7,5 Hp)	4	6	24	24	0,5	288
Ventiladores Torre ZR (6,6 Hp)	4	5	20	24	1	480
Ventiladores Torre ZA (6,6 Hp)	2	5	10	24	0,5	120
Sistema de Presurización (125 Hp)	1	93	93	24	1	2232
Secadoras China (30Hp)	3	22	66	24	0,5	792
Secadoras FD 1600 (40 Hp)	1	29,84	29,84	24	1	716,16
Consumo de Energía (kwh-día)						69.428,16
Consumo de Energía (kwh-Año)						25.341.278,40
Consumo de Energía (Bs/Año)						2.767.774,43



Apéndice G

- Costos de Reposición de las Salas Generadoras de Aire Comprimido Actuales.

COSTOS DE REPOSICIÓN DE LAS SALAS GENERADORAS DE AIRE COMPRESIDO ACTUALES

La metodología empleada fue basada en el modelo de reposición de equipo usada por la Superintendencia de Ingeniería Industrial en CVG Alcasa, mostrada en el Anexo 7, a continuación se muestra el cálculo para un año, y de allí las tablas resúmenes.

Costo de Adquisición (Activos 1979)	4.341.920 Bs	(A)
Paridad Cambiaria (1979)	4,3 Bs/\$	(B)
Costo de Adquisición (Activos 1979)	1.009.748,84	(C)= A/B
Factor de Utilización=	1,61032	(D)
Subtotal Valor de Reposición	1.626.018,75 \$	(E)= C*D
Paridad Cambiaria (Junio 2011)	4,30 Bs	(F)
VALOR DE REPOSICIÓN A NUEVO = 6.991.880,63		(G)= E*F
$(D) = (1 + \text{inflación interanual EEUU})^n = (1 + 1,5/100)^{32}$ $n = \text{edad cronológica del equipo}$ $\text{inflación} = 1,5 \%$		

SALA FACILIDAD 18

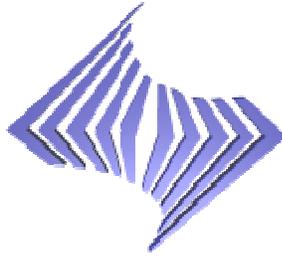
EQUIPOS	FECHA ADQUISICIÓN	COSTO HISTORICO (Bs)	Cantidad de Equipos	TOTAL COSTO HISTORICOS (BS)	PARIDAD CAMBIARIA (Bs/\$)	COSTO HISTORICO (\$)	FACTOR DE UTILIZACIÓN
Compresor Ingersoll Rand	30/09/1979	482.680,00	8	3.861.440	4,3	898.009,30	1,61032
Filtro de Aire Compresor		18.380,00	8	147.040		34.195,35	
Tanque de Compresor		23.370,00	8	186.960		43.479,07	
Torre de Enfriamiento		90.920,00	1	90.920		21.144,19	
Bomba para Torre de Enfriamiento		27.780,00	2	55.560		12.920,93	
Total Equipos (1979)		643.130,00	27	4.341.920		1.009.748,84	
VALOR DE REPOSICIÓN = 6.991.880,63 BS.F							
Compresor ZR-450	05/12/2002	551.398.400	1	551.398.400,00	1.158,93	475.782,32	1,14339
VALOR DE REPOSICIÓN = 2.339.220,43 BS.F							
Compresor ZR-450	30/10/2004	835.584.000	1	835.584.000,00	1880,78	444.275,25	1,10984
VALOR DE REPOSICIÓN = 2.120.220,09							
TOTAL VALOR DE REPOSICIÓN DE SALA FACILIDAD 18 = 11.451.321,15 Bs.F							

SALA COMPLEJO I

EQUIPOS	FECHA ADQUISICIÓN	COSTO HISTORICO (Bs)	Cantidad de Equipos	TOTAL COSTO HISTORICOS (BS)	PARIDAD CAMBIARIA (Bs/\$)	COSTO HISTORICO (\$)	FACTOR DE UTILIZACIÓN
Compresor ZR-5A	31/121989	10.344.860	4	41.379.440,00	40,00	1.034.486,00	1,38756
Compresor ZA-5A		8.367.440	2	16.734.880,00		418.372,00	
Tanque Tipo tac-2500 (50 psig)		1.117.110	3	3.351.330,00		83.783,25	
Total Equipos (1989)		19.829.410	9	61.465.650		1.536.641,25	
VALOR DE REPOSICIÓN = 9.168.382,3 Bs.F							
Torre de Enfriamiento 324/09	31/05/1991	2.037.410	2	4.074.820	73,17	55.689,76	1,34686
Torre de Enfriamiento 441/09		2.162.080	4	8.648.320		118.194,89	
Total Equipos(1991)		4.199.490	6	12.723.140		173.884,65	
VALOR DE REPOSICIÓN = 1.007.052,60 Bs.F							
Compresor GA	30/10/1997	7.282.570	2	14.565.140,00	487,59	29.871,70	1,23176
Secadora fd 210		21.692.770	2	43.385.540,00		88.979,55	
Total Equipos (1997)		28.975.340	4	57.950.680		118.851,25	
VALOR DE REPOSICIÓN = 629.503,75 Bs.F							
Secadora Atlas copco m-fd-160w	30/06/1999	24.137.280	2	48.274.560,00	604,69	79.833,57	1,19562
VALOR DE REPOSICIÓN = 410.437,67 Bs.F							
Sistema de Presurización	31/12/2000	128.444.120	1	128.444.120	678,93	189.186,10	1,17795
VALOR DE REPOSICIÓN =1.447.623,68 Bs.F							
Compresor ZR-450	05/12/2002	551.398.400	1	551.398.400,00	1.158,93	475.782,32	1,14339
VALOR DE REPOSICIÓN = 2.339.220,43 Bs.F							
Compresor ZR-450	30/10/2004	835.584.000	1	835.584.000,00	1880,78	444.275,25	1,10984
VALOR DE REPOSICIÓN = 2.120.220,09 Bs.F							
TOTAL VALOR DE REPOSICIÓN DE SALA FACILIDAD 18 = 17.122.440,51Bs.F							

SALA COMPLEJO II

EQUIPOS	FECHA ADQUISICIÓN	COSTO HISTORICO (Bs)	Cantidad de Equipos	TOTAL COSTO HISTORICOS (BS)	PARIDAD CAMBIARIA (Bs/\$)	COSTO HISTORICO (\$)	FACTOR DE UTILIZACIÓN
Compresor ZR-5A	31/121989	10.344.860	4	41.379.440,00	40,00	1.034.486,00	1,38756
Compresor ZA-5A		8.367.440	2	16.734.880,00		418.372,00	
Tanque Tipo tac-2500 (50 psig)		1.117.110	3	3.351.330,00		83.783,25	
Total Equipos (1989)		19.829.410	9	61.465.650		1.536.641,25	
VALOR DE REPOSICIÓN = 9.168.382,3 Bs.F							
Torre de Enfriamiento 324/09	31/05/1991	2.037.410	2	4.074.820	73,17	55.689,76	1,34686
Torre de Enfriamiento 441/09		2.162.080	4	8.648.320		118.194,89	
Total Equipos(1991)		4.199.490	6	12.723.140		173.884,65	
VALOR DE REPOSICIÓN = 1.007.052,60 Bs.F							
Compresor GA	30/12/1995	6.615.990	2	13.231.980,00	290	45.627,52	1,26899
VALOR DE REPOSICIÓN = 248.973,74 Bs.F							
Secadora fd 210	30/10/1997	21.692.770	2	43.385.540,00	487,59	88.979,55	1,23176
VALOR DE REPOSICIÓN =471.286,24 Bs.F							
Secadora Atlas copco m-fd-160w	30/06/1999	24.137.280	2	48.274.560,00	604,69	79.833,57	1,19562
VALOR DE REPOSICIÓN = 410.437,67 Bs.F							
Sistema de Presurización	31/12/2000	128.444.120	1	128.444.120	678,93	189.186,10	1,17795
VALOR DE REPOSICIÓN =1.447.623,68 Bs.F							
TOTAL VALOR DE REPOSICIÓN DE SALA FACILIDAD 18 = 12.753.756, 23 Bs.F							

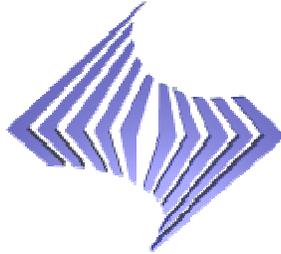


Apéndice H

- Tasa de Inflación Anual Promedio de Venezuela

TASA DE INFLACIÓN PROMEDIO ANUAL DE VENEZUELA

Año	Inflación (%)	Variación (%)
2000	13,4	-
2001	12,3	-1,1
2002	31,2	18,9
2003	27,08	-4,12
2004	19,19	-7,89
2005	14,36	-4,83
2006	16,98	2,62
2007	22,46	5,48
2008	31,9	9,44
2009	26,91	-4,99
2010	27,36	0,45
2011	29,08	1,72
2012	31,3	2,22
Tasa Promedio Anual Inflacionaria		1,5

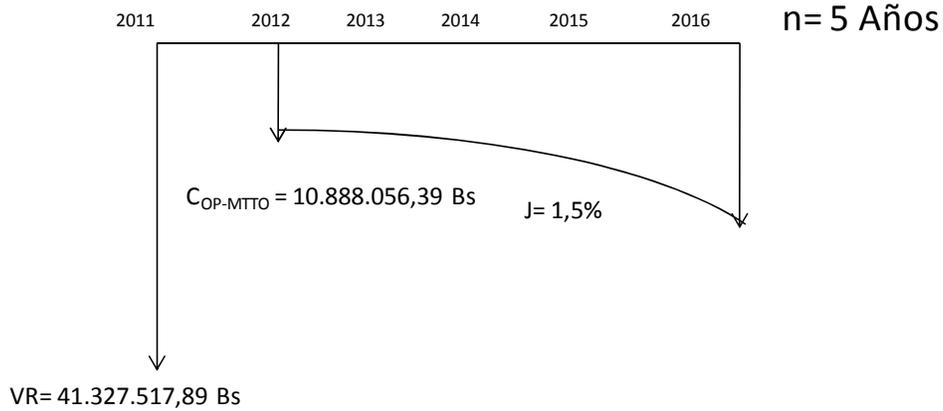


Apéndice I

- Flujos de Caja Alternativa A. Situación Actual
- Flujos de Caja Alternativa B. Mejoramiento de las 3 salas generadoras de aire Comprimido
- Flujos de Caja Alternativa C. Proyecto de Centralización de Generación de Aire Comprimido.

**ALTERNATIVA A
SITUACIÓN ACTUAL**

$i = 12 \%$

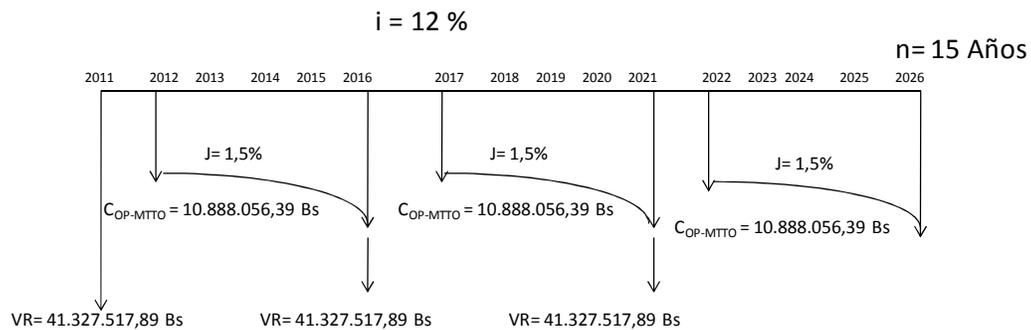


VALOR ANUAL (VA)

$$VA = VR (A/P, i\%, n) + C_{Op-MTTO} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^n}{i-j} \right] * (A/P, i\%, n)$$

$VA = 22.646.684,94 \text{ Bs}$

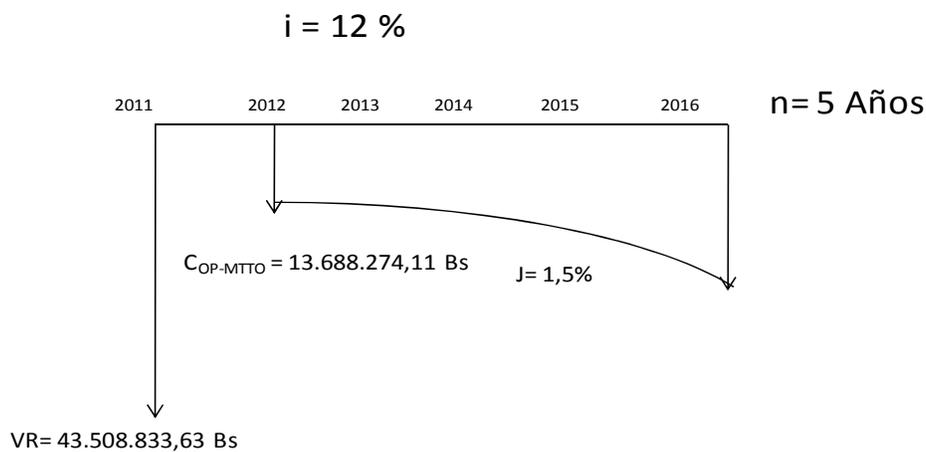
VALOR PRESENTE NETO



$$VP = VR + C_{Op-MTTo} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^5}{i-j} \right] + VR \left(\frac{P}{F}, i\%, 5 \right) + C_{Op-MTTo} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^5}{i-j} \right] * \left(\frac{P}{F}, i\%, 5 \right) + VR \left(\frac{P}{F}, i\%, 10 \right) + C_{Op-MTTo} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^5}{i-j} \right] * \left(\frac{P}{F}, i\%, 10 \right)$$

VP= 154.243.346,6 Bs

ALTERNATIVA B
MEJORAMIENTO DE LAS TRES SALAS DE GENERACIÓN DE AIRE
COMPRESIDO ACTUALES

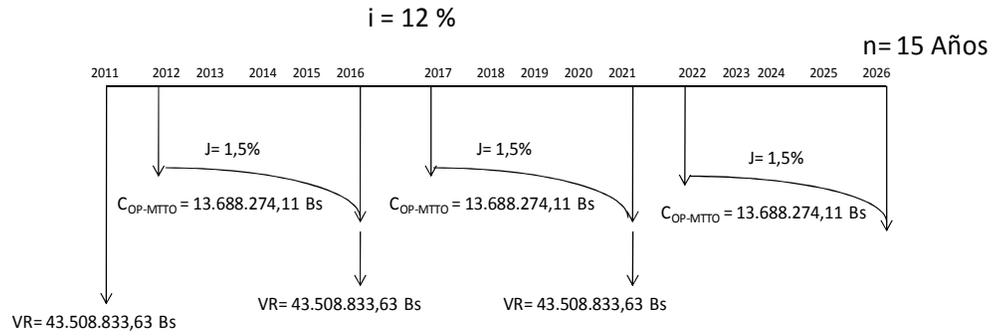


VALOR ANUAL (VA)

$$VA = VR (A/P, i\%, n) + C_{Op-MTTo} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^n}{i-j} \right] * (A/P, i\%, n)$$

VA= 26.127.623,48 Bs

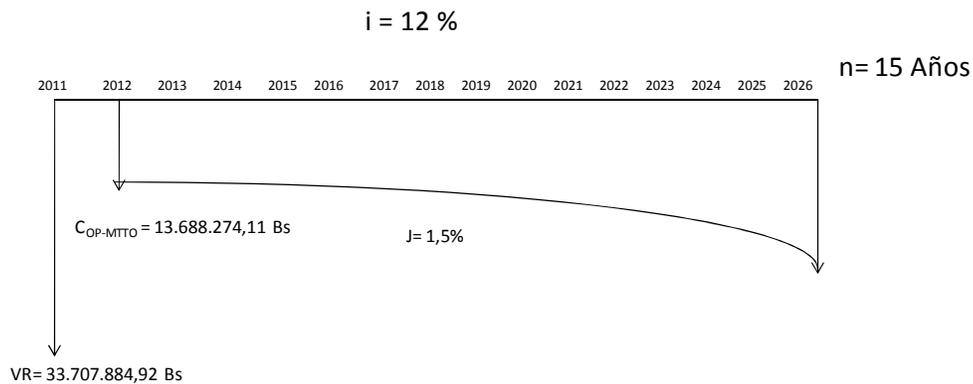
VALOR PRESENTE NETO



$$VP = VR + C_{Op-MTTO} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^5}{i-j} \right] + VR \left(\frac{P}{F}, i\%, 5 \right) + C_{Op-MTTO} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^5}{i-j} \right] * \left(\frac{P}{F}, i\%, 5 \right) + VR \left(\frac{P}{F}, i\%, 10 \right) + C_{Op-MTTO} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^5}{i-j} \right] * \left(\frac{P}{F}, i\%, 10 \right)$$

$VP = 177.951.550,7 \text{ Bs}$

ALTERNATIVA C PROYECTO DE CENTRALIZACIÓN DE GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO



VALOR ANUAL (VA)

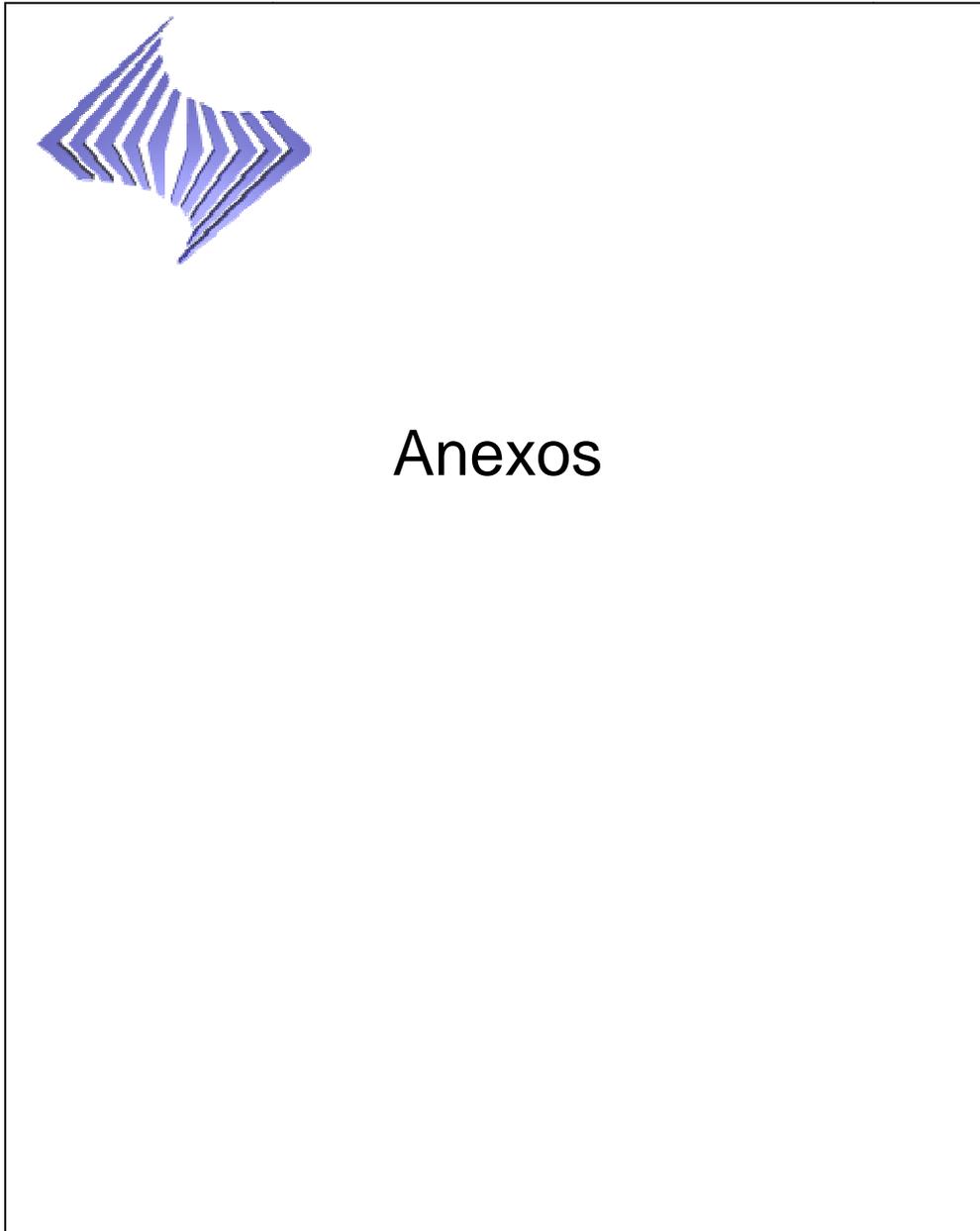
$$VA = VR (A/P, i\%, n) + C_{Op-MTT0} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^n}{i-j} \right] * (A/P, i\%, n)$$

$$VA = 14.603.237,63 \text{ Bs}$$

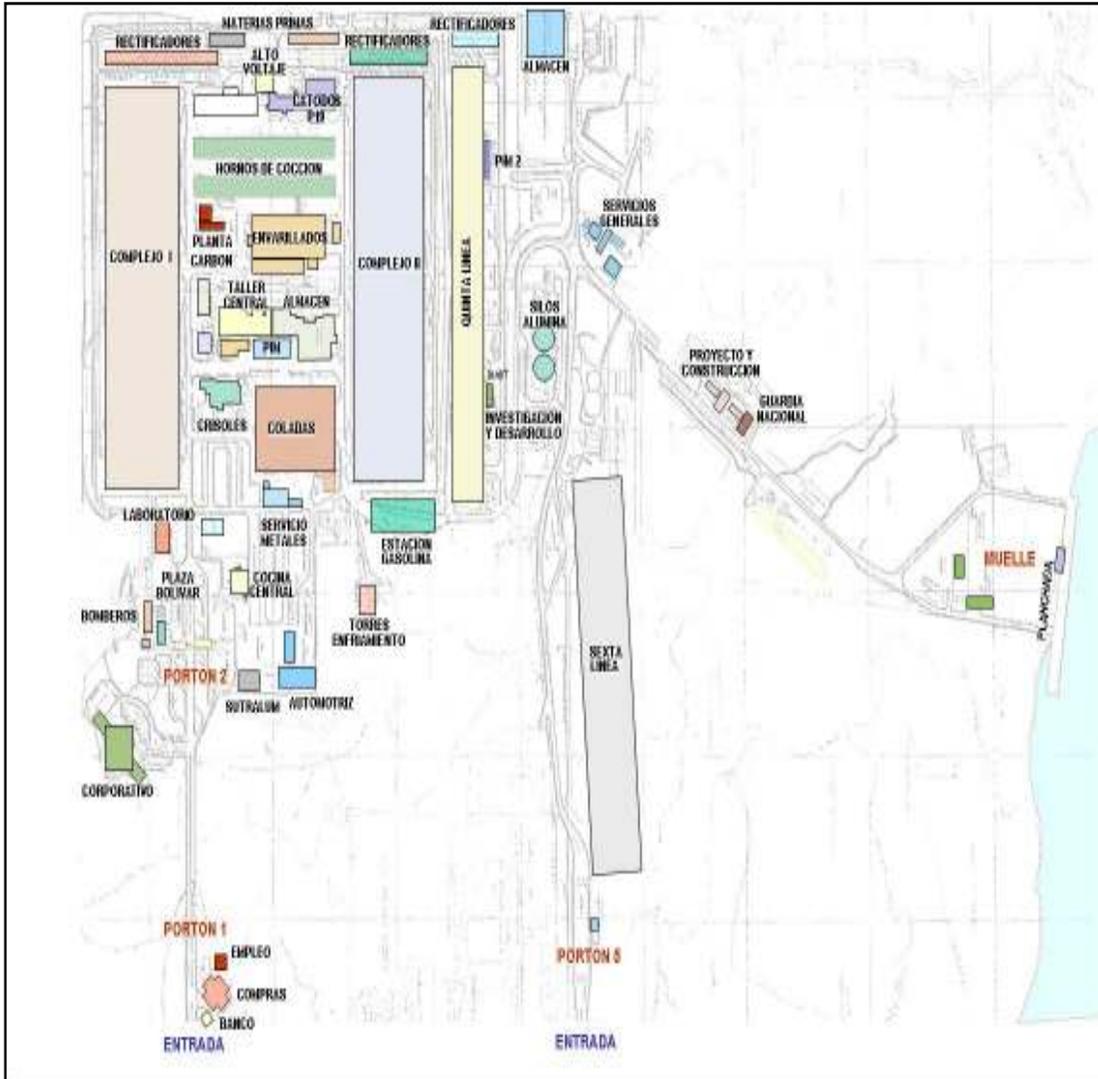
VALOR PRESENTE NETO

$$VP = VR + C_{Op-MTT0} \left[\frac{1 - \left(\frac{1+j}{1+i}\right)^{15}}{i-j} \right]$$

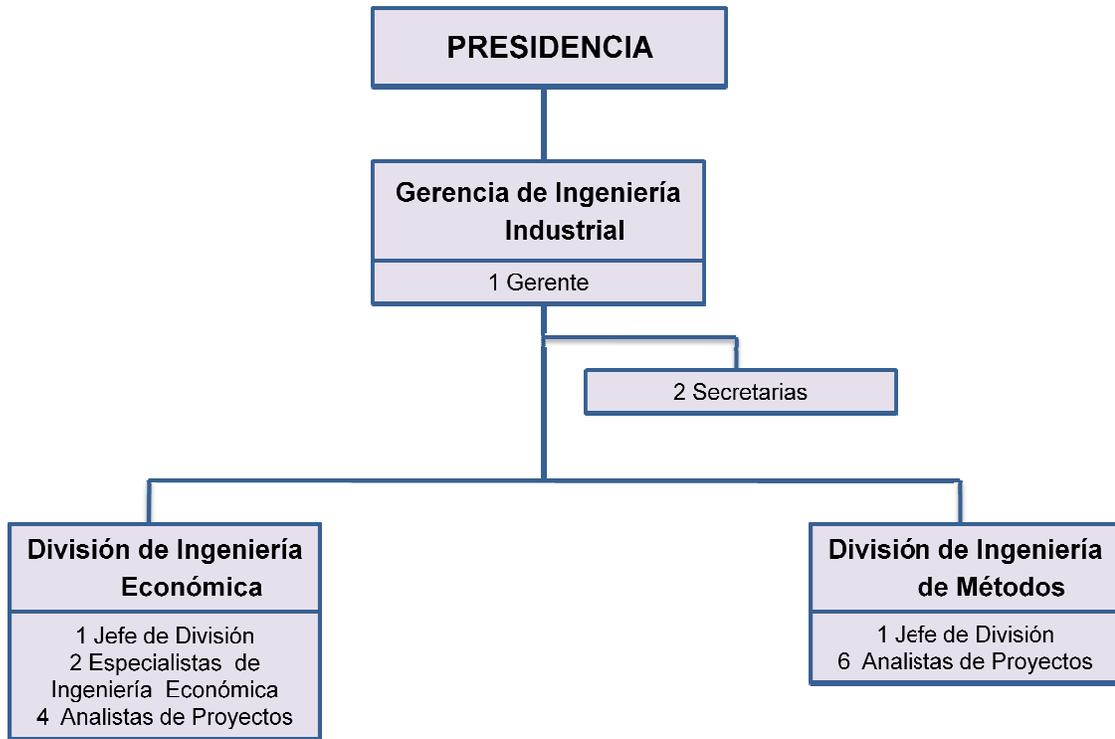
$$VP = 99.463.544,67 \text{ Bs}$$



Anexo 1. Plano de La Empresa



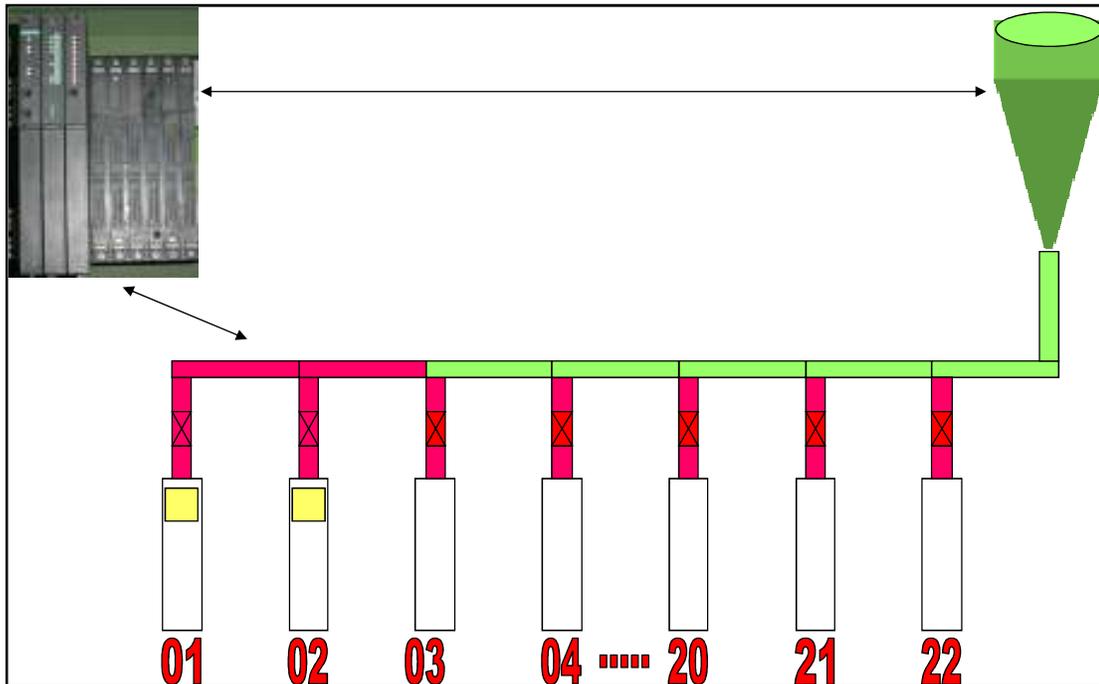
Anexo 2. Organigrama De Ingeniería Industrial



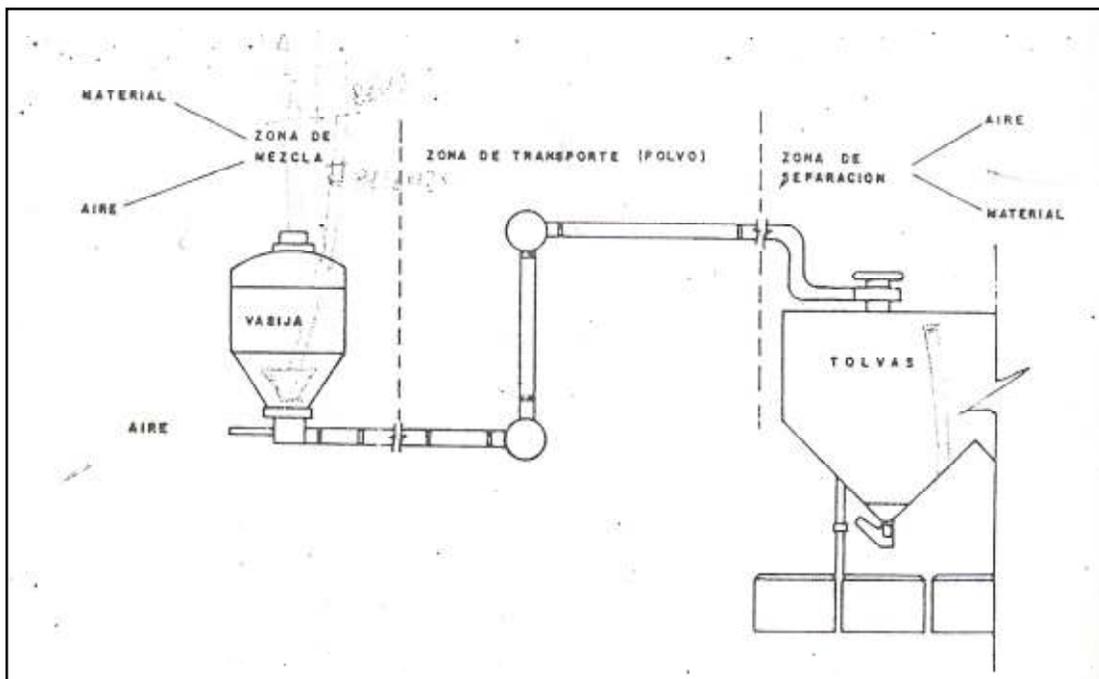
Anexo 3. Listado de Eficiencia de Compresores Ingersoll Rand

Listado de Eficiencia Compresores Ingersoll- Rand 					
2	XLE C-3	1 CE	1	0,632	0,829
		2 HE	2	0,889	
		2 CE	2	0,966	
3	XLE D-4	1 HE	1	0,417	0,78
		1 CE	1	0,946	
		2 HE	2	0,931	
4	XLE E-5	2 CE	2	0,827	0,85
		1 CE	1	0,8	
		1 HE	1	0,758	
5	XLE F-6	2 HE	2	0,936	0,863
		2 CE	2	0,908	
		1 HE	1	0,828	
6	XLE G-7	1 CE	1	0,816	0,873
		2 HE	2	0,93	
		2 CE	2	0,878	
7	XLE H-8	1 HE	1	0,809	0,804
		1 CE	1	0,951	
		2 HE	2	0,921	
		2 CE	2	0,813	
		1 HE	1	0,745	
		1 CE	1	0,701	
		2 HE	2	0,899	
		2 CE	2	0,87	
		Promedio Eficiencia de Compresores			

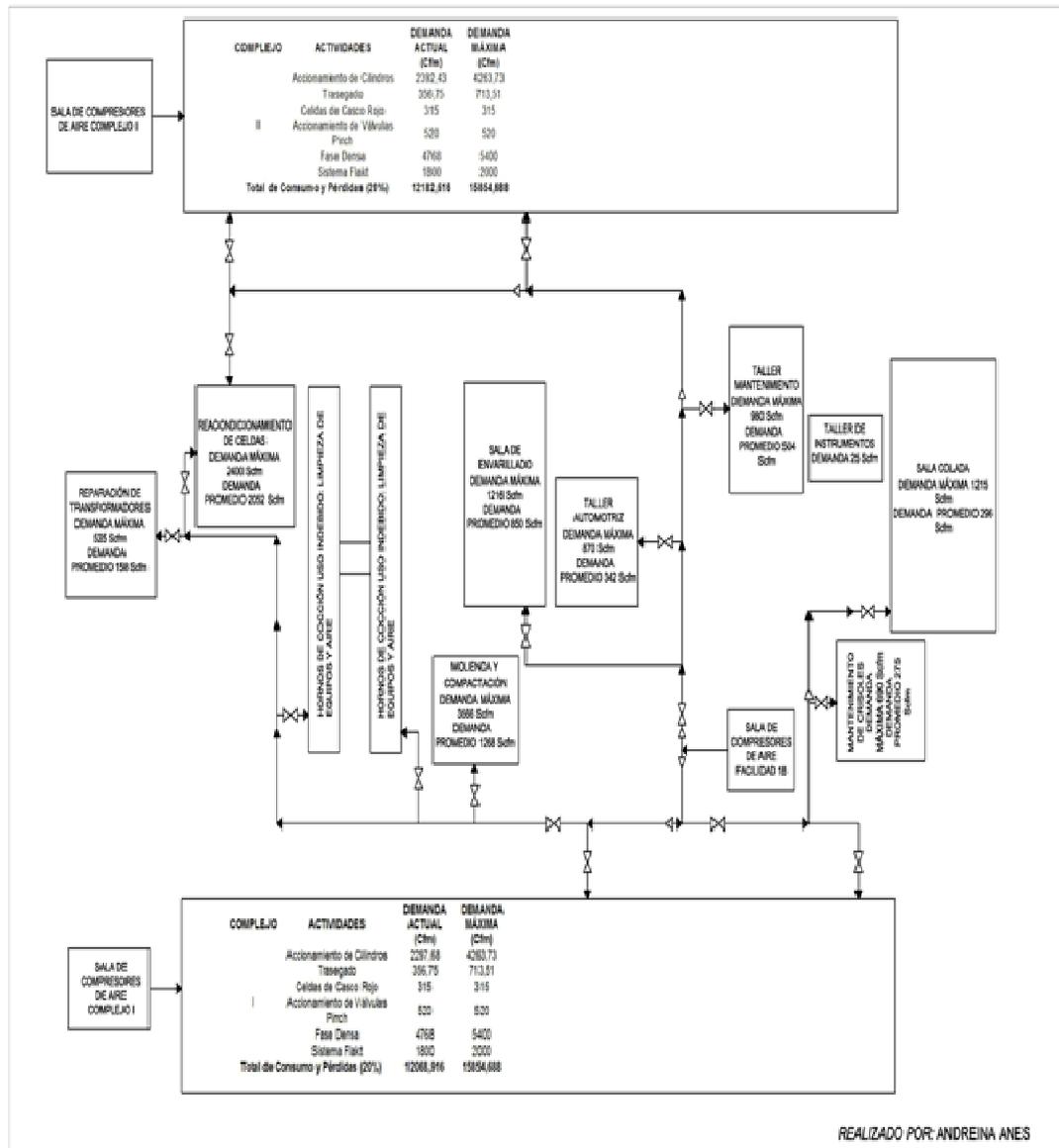
Anexo 4. Diagrama de Válvulas Pinch



Anexo 5. Diagrama Zonas del Sistema de Distribución Fase Densa



Anexo 6 Plano de Distribución del Aire en Planta



Anexo 7 Modelo de Valor de Reposición de Equipo (ALCASA)

C.V.G. ALCASA
GERENCIA TÉCNICA
SUPERINTENDENCIA INGENIERIA INDUSTRIAL

Informe:SI-318/04
Archivo: Avalúo Luewy Robertson Sunbeam y Canefco.xls

HORNO DE PRECALENTAMIENTO SUNBEAM

Fecha de Adquisición: 01/10/1969

Actualización del Valor del Activo			
Costo de Adquisición	1.639.564 Bs		(A)
Paridad Cambiaria (01/10/1969)	4,3 Bs/US\$		(B)
Costo de Adquisición	381.294 US\$		(C) = A/B
Factor de Actualización	1,68		(D)
Subtotal Valor de Reposición	642.054 US\$		(E) = C * D
Paridad Cambiaria (noviembre 2004)	1.920 Bs/US\$		(F)
VALOR DE REPOSICION A NUEVO	1.232.743.500 Bs		(G) = E * F

$$(D) = (1 + \text{Inflación Interanual EEUU}/100)^n = (1 + 1,5/100)^{36}$$

n = Edad Cronológica del equipo

HORNO DE PRECALENTAMIENTO CANEFCO

Fecha de Adquisición: 30/11/1978

Actualización del Valor del Activo			
Costo de Adquisición	5.723.928 Bs		(A)
Paridad Cambiaria (30/11/1978)	4,3 Bs/US\$		(B)
Costo de Adquisición	1.331.146 US\$		(C) = A/B
Factor de Actualización	1,47		(D)
Subtotal Valor de Reposición	1.960.382 US\$		(E) = C * D
Paridad Cambiaria (noviembre 2004)	1.920 Bs/US\$		(F)
VALOR DE REPOSICION A NUEVO	3.763.951.927 Bs		(G) = E * F

$$(D) = (1 + \text{Inflación Interanual EEUU}/100)^n = (1 + 1,5/100)^{28}$$

n = Edad Cronológica del equipo

Anexo 8. Tabla de Flujo de Efectivo Discreto: Factores de interés compuesto 12%

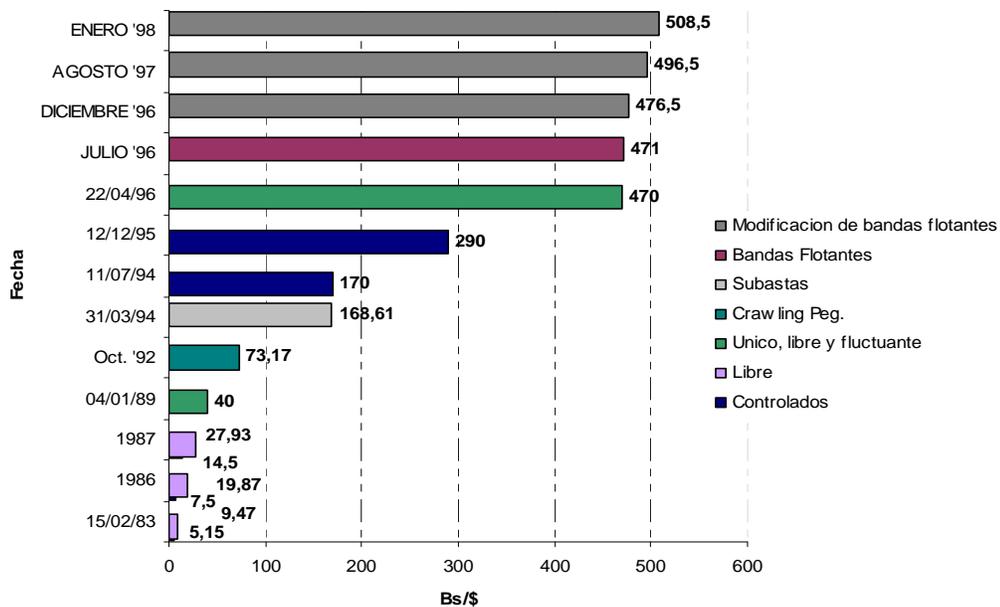
12% Flujo de Efectivo discreto : Factores de Interés Compuesto								
n	Pagos Únicos		Pagos de Serie Uniforme				Gradientes Aritméticos	
	Cantidad Compuesta F/P	Valor Presente (P/F)	Factor de Amortización (A/F)	Cantidad Compuesta (F/A)	Recuperación de Capital (A/P)	Valor Presente (P/A)	Gradiente de Valor Presente (P/G)	Gradiente de Serie anual (A/G)
1	1,12	0,8929	1	1	1,12	0,8929		
2	1,2544	0,7972	0,4717	2,12	0,5917	1,6901	0,7972	0,4717
3	1,4049	0,7118	0,29635	3,3744	0,41635	2,4018	2,2208	0,9246
4	1,5735	0,6355	0,20923	4,7793	0,32923	3,0373	4,1273	1,3589
5	1,7623	0,5674	0,15741	6,3528	0,27741	3,6048	6,397	1,7746
6	1,9738	0,5066	0,12323	8,1152	0,24323	4,1114	8,9302	2,172
7	2,2107	0,4523	0,09912	10,089	0,21912	4,5638	11,6443	2,5512
8	2,476	0,4039	0,0813	12,2997	0,2013	4,9676	14,4714	2,9131
9	2,7731	0,3606	0,06768	14,7757	0,18768	5,3282	17,3563	3,2574
10	3,1058	0,322	0,05698	17,5487	0,17698	5,6502	20,2541	3,5847
11	3,4785	0,2875	0,04842	20,6546	0,16842	5,9377	23,1288	3,8953
12	3,896	0,2567	0,04144	24,1331	0,16144	6,1944	25,9523	4,1897
13	4,3635	0,2292	0,03568	28,0291	0,15568	6,4235	28,7024	4,4683
14	4,8871	0,2046	0,03087	32,3926	0,15087	6,6282	31,3624	4,7317
15	5,4736	0,1827	0,02682	37,2797	0,14682	6,8109	33,902	4,9803
16	6,1304	0,1631	0,02339	42,7533	0,14339	6,974	36,367	5,2147
17	6,866	0,1456	0,02046	48,8837	0,14046	7,1196	38,6973	5,4353
18	7,69	0,13	0,01794	55,7497	0,13794	7,2497	40,908	5,6427
19	8,6128	0,1161	0,01576	63,4397	0,13576	7,3658	42,9979	5,8375
20	9,6463	0,1037	0,01388	72,0524	0,13388	7,4694	44,9676	6,0202
21	10,8038	0,0926	0,01224	81,6987	0,13224	7,562	46,8188	6,1913
22	12,1003	0,0826	0,01081	92,5026	0,13081	7,6446	48,5543	6,3514
23	13,5523	0,0738	0,00956	104,6029	0,12956	7,7184	50,1776	6,501
24	15,1786	0,0659	0,00846	118,1552	0,12846	7,7843	51,6929	6,6406
25	17,001	0,0588	0,0075	133,3339	0,1275	7,8431	53,1046	6,7708
26	19,0401	0,0525	0,00665	150,3339	0,12665	7,8957	54,4177	6,8921
27	21,3249	0,0469	0,0059	169,374	0,1259	7,9426	55,6369	7,0049
28	23,8839	0,0419	0,00524	190,6989	0,12524	7,9844	56,7674	7,1098
29	26,7499	0,0374	0,00466	214,5828	0,12466	8,0218	57,8141	7,2071
30	29,9599	0,0334	0,00414	241,3327	0,12414	8,0552	58,7821	7,2974
31	33,5551	0,0298	0,00369	271,2926	0,12369	8,085	59,6761	7,3811
32	37,5817	0,0266	0,00328	304,8477	0,12328	8,1116	60,501	7,4586
33	42,0915	0,0238	0,00292	342,4294	0,12292	8,1354	61,2612	7,5302
34	47,1425	0,0212	0,0026	384,521	0,1226	8,1566	61,9612	7,5965
35	52,7996	0,0189	0,00232	431,6635	0,12232	8,1755	62,6052	7,6577
40	93,051	0,0107	0,0013	767,0914	0,1213	8,2438	65,1159	7,8988
45	163,9876	0,0061	0,0074	1358,23	0,12074	8,2825	66,7342	8,0572
50	289,0022	0,0035	0,00042	2400,02	0,12042	8,3045	67,7624	8,1597
55	509,3206	0,002	0,00024	4236,01	0,12024	8,317	68,4082	8,2251
60	897,5969	0,0011	0,00013	7471,64	0,12013	8,324	68,81	8,2664
65	1581,87	0,0006	0,00008	13174	0,1208	8,3281	69,0581	8,2922
70	2787,8	0,0004	0,00004	23223	0,12004	8,3303	69,2103	8,3082
75	4913,06	0,0002	0,00002	40934	0,12002	8,3316	69,3031	8,3181
80	8658,48	0,0001	0,00001	72146	0,12001	8,3324	69,3594	8,3241
85	15259	0,0001	0,00001		0,12001	8,3328	69,3935	8,3278

Anexo 9. Tabla Evolución de la Inflación en Venezuela

Año	Inflación
2009	26.91%
2008	31.90%
2007	22.46%
2006	16.98%
2005	14.36%
2004	19.19%
2003	27.08%
2002	31.20%
2001	12.30%
2000	13.40%
1999	20.03%

Fuente: <http://twextra.com/at6r7j>

Anexo 10. Tipo de Cambio 1983-1998 (BS/\$)



Anexo 11. Tipo de Cambio de Referencia Banco Central de Venezuela (Bs/\$)

Fecha	TIPOS DE CAMBIO DE REFERENCIA 1/ (BS / US\$)							
	COMPRA		VENTA		COMPRA		VENTA	
	Promedio del Periodo	Ultimo Día Hábil	Promedio del Periodo	Ultimo Día Hábil	Promedio del Periodo	Ultimo Día Hábil	Promedio del Periodo	Ultimo Día Hábil
2011	-	-	-	-	4,2893	4,2893	4,3	4,3
Abril	-	-	-	-	4,2893	4,2893	4,3	4,3
Marzo	-	-	-	-	4,2893	4,2893	4,3	4,3
Febrero	-	-	-	-	4,2893	4,2893	4,3	4,3
Enero	-	-	-	-	4,2893	4,2893	4,3	4,3
2004	1.880,78	1.915,20	1.885,49	1.920,00				
Diciembre	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Noviembre	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Octubre	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Septiembre	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Agosto	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Julio	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Junio	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Mayo	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Abril	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Marzo	1.915,20	1.915,20	1.920,00	1.920,00				
Febrero	1.821,32	1.915,20	1.825,88	1.920,00				
Enero	1.596,00	1.596,00	1.600,00	1.600,00				
2002	1.158,93	1.397,75	1.160,95	1.401,25				
Diciembre	1.317,17	1.397,75	1.320,67	1.401,25				
Noviembre	1.363,10	1.325,25	1.366,60	1.328,75				
Octubre	1.448,82	1.371,75	1.452,32	1.375,25				
Septiembre	1.453,70	1.471,50	1.457,20	1.475,00				
Agosto	1.371,93	1.407,75	1.373,93	1.411,25				
Julio	1.327,73	1.326,50	1.328,98	1.327,75				
Junio	1.195,49	1.315,50	1.196,74	1.316,75				
Mayo	964,23	1.097,50	965,48	1.098,75				
Abril	875,29	837,5	876,54	838,75				
Marzo	945,97	890,5	947,22	891,75				
Febrero	883,12	1.059,75	884,21	1.061,00				
Enero	760,55	763,5	761,55	764,5				
2000	678,93	698,75	679,93	699,75				
Diciembre	697,34	698,75	698,34	699,75				
Noviembre	694,31	696	695,31	697				
Octubre	691,46	693	692,46	694				
Septiembre	689,06	689,75	690,08	690,75				
Agosto	687,89	688,75	688,89	689,75				
Julio	684,21	686,5	685,21	687,5				
Junio	679,54	681	680,55	682				
Mayo	678,53	683	679,53	684				
Abril	671,01	674	672,01	675				
Marzo	665,12	669	666,12	670				
Febrero	657,51	660,75	658,51	661,75				
Enero	651,15	654,25	652,15	655,25				
1999	604,69	647,25	605,7	648,25				
Diciembre	642,33	647,25	643,35	648,25				
Noviembre	633,14	636,75	634,15	637,75				
Octubre	629,19	630,25	630,19	631,25				
Septiembre	623,47	627	624,48	628				
Agosto	614,22	618,25	615,22	619,25				
Julio	609,55	611,25	610,56	612,25				
Junio	601,13	605	602,13	606				
Mayo	594,63	597,5	595,63	598,5				
Abril	586,29	589,75	587,29	590,75				
Marzo	578,4	582,5	579,4	583,5				
Febrero	576,08	576	577,1	577				
Enero	567,83	572,25	568,84	573,25				
1997	487,59	503,25	488,59	504,25				
Diciembre	501,8	503,25	502,8	504,25				
Noviembre	498,93	499,75	499,93	500,75				
Octubre	497,63	499	498,62	500				
Septiembre	495,8	496,75	496,79	497,75				
Agosto	494,93	495,5	495,9	496,5				
Julio	490,27	496	491,25	497				
Junio	484,63	484,75	485,63	485,75				
Mayo	482,27	483,25	483,27	484,25				
Abril	478,25	480,75	479,25	481,75				
Marzo	477,35	477	478,4	478				
Febrero	473,32	477,25	474,4	478,5				
Enero	475,83	473,75	476,84	475				

Nota: A partir del 11 de enero 2010, según el Convenio Cambiario N°14, publicado en la Gaceta Oficial N° 39.342 de fecha 8 de enero 2010, y el Convenio Cambiario N°1, de fecha 05 de febrero 2003, se establecen los tipos de cambio Bs/US\$ 2,5935 (Compra) / 2,6000 (Venta) y Bs/US\$ 4,2893 (Compra) / 4,3000 (Venta) para las operaciones allí indicadas. Este convenio deroga al Convenio Cambiario N°2, publicado en la Gaceta Oficial N°38.13 8 de fecha 2 de marzo 2005.

Fuente : Banco Central de Venezuela

Anexo 12. Equipos Sala Facilidad 18



Anexo 12. Equipos Sala Complejo I y II

