

60

LEP

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTITUTO DE INGENIERIA

**SISTEMA EXPERTO PARA LA OPTIMIZACION
ENERGETICA DE COMPRESORES EN LA INDUSTRIA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERIA EN COMPUTACION**

P R E S E N T A N

MOJICA MERCADO ROBERTO

OLIVAS OLGUIN CARLOS JESUS

ORTIZ DIAZ OSCAR

DIRECTOR DE TESIS:

DR. FELIPE LARA ROSANO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEDICADA A:

A MIS PADRES NOÉ Y TAMY

*PRIMERAMENTE POR HABERME DADO LA VIDA
Y EN SEGUNDO POR SU APOYO, EDUCACIÓN, BUENOS EJEMPLOS
Y COMPRESIÓN QUE SIEMPRE SUPIERON DARME HASTA ESTOS
MOMENTOS, YA QUE A TODO ELLO LES DEBO LO QUE SOY.
LOS QUIERO MUCHO.*

A MIS TÍOS BERNA Y ENOÉ

*POR LAS ENSEÑANZAS QUE ME DIERON DESDE MI NIÑEZ HASTA
MI MADUREZ, YA QUE ELAS FUERON MUY IMPORTANTES PARA
LA ELECCIÓN DE MIS ESTUDIOS Y METAS MARCADAS HASTA AHORA.
TE EXTRAÑO TÍO, GRACIAS.*

A MIS ABUELITOS JOSÉ Y TOMASITA

*POR LA FAMILIA QUE FORMARON Y ME DIERON PARA TOMAR COMO
EJEMPLO Y FORMAR PARTE DE ELA.
GRACIAS Y LOS QUIERO MUCHO.*

A MIS HERMANOS DANIEL Y JUNIOR

*LES DOY LAS MAS GRANDES GRACIAS POR SU APOYO Y COMPRESIÓN,
YA QUE SIN USTEDES PRINCIPALMENTE NO HUBIERA PODIDO LOGRAR
MIS ESTUDIOS Y LOGROS OBTENIDOS, POR LO CUAL QUIERO DECIRLES
QUE ESTA TESIS NO LA HICE YO SOLO SI NO QUE LA HICIMOS
LOS TRES JUNTOS.
MUCHAS GRACIAS Y LOS QUIERO MUCHO, NO LO OLVIDEN*

A MAYO, LETY, CLAUDIA, ENRIQUE, ALEJANDRO, PACO Y LALO

*LES DOY GRACIAS POR TODO EL APOYO MORAL Y AYUDA QUE
SIEMPRE ME HAN DADO Y POR SER LA FAMILIA QUE SOMOS
GRACIAS POR TODO, LOS QUIERO.*

A RAMÓN DIAZ, GUILLERMINA

Y A LA PERSONA QUE QUIERO MUCHO A MI VERO
*GRACIAS POR TODA LA AYUDA, APOYO Y COMPRESIÓN QUE HAN SABIDO
DARME DURANTE ESTOS AÑOS
GRACIAS POR TODO.*

A MIS AMIGOS OSCAR, CARLOS, SERGIO, ROBERTO, ETC..

*CON LOS CUALES HE CONVIVIDO GRAN PARTE DE MI VIDA
DE LOS CUALES APRENDÍ Y ME HAN APOYADO PARA LLEGAR
HASTA AQUÍ.*

**ESTA TESIS SE LAS OFREZCO A TODOS COMO UN TESTIMONIO
Y AGRADECIMIENTO DEL GRAN ESFUERZO Y CONFIANZA QUE
DEPOSITARON EN MI.**

ROBERTO MOYSCA MERCADO

DEDICADA A:

A MIS PADRES : JESUS Y BERTHA
GRACIAS A SU CARINO, APOYO Y COMPRENSIÓN
EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS.
HAN HECHO POSIBLE EL PODER TERMINAR ESTA
CARRERA, LA CUAL LES DEDICO COMO TESTIMONIO
DEL GRAN ESFUERZO QUE HICIERON POR MI
LOS QUIERO MUCHO.

A MI HERMANA FABIOLA Y FAMILIARES
SOBRE TODO A MI TIO SATURNINO PUES ME APOYO
EN TIEMPOS DIFICILES, EN GENERAL A TODOS LOS
QUE FORMAN PARTE DE MI FAMILIA. GRACIAS POR
TODO SU APOYO.

A MI AMIGA ALE
POR TODO EL APOYO MORAL,
Y POR QUE SIEMPRE ME HA MOTIVADO
A SALIR ADELANTE.
PARTE DE ESTE LOGRO ES POR TU APOYO

A MI MADRINA
Y A SU FAMILIA PUES SIEMPRE
ME HAN BRINDADO SU APOYO Y AMISTAD.
GRACIAS POR TODO.

A MIS AMIGOS : RUBEN R., JESUS, OSCAR, SERGIO,
ROBERTO, Y A TODOS CON LOS CUALES
HE CONVIVIDO GRAN PARTE DE MI VIDA.
DE LOS CUALES APRENDI Y ME HAN APOYADO
PARA LLEGAR HASTA AQUI.
GRACIAS POR SU AMISTAD.

CARLOS JESUS OLIVAS OLBURN

DEDICADA A:

A MIS PADRES: Alfonso y Guadalupe

Por ese cariño, comprensión y su gran apoyo para terminar esta carrera, la yo se las ofrezco como un testimonio del gran esfuerzo que hicieron por mi.

Estarán siempre conmigo.

**A MIS HERMANOS: Rosa María, Alfonso, Ricardo,
Eduardo y Gilberto.**

Por su gran apoyo y ayuda incondicional que tuvieron conmigo, el ejemplo que siempre me mostraron ha seguir y que nunca olvidare.

Gracias

A MI FAMILIARES:

Por el apoyo moral que mostraron en el transcurso de mis estudios.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Por su gran amistad, su compañía, su ayuda y apoyo prestado en los buenos y malos momentos.

Oscar

AGRADECIMIENTOS A:

EL DR. FELIPE LARA ROSANO

POR EL APOYO TECNICO Y MORAL QUE NOS BRINDO PARA LA REALIZACION DE ESTA TESIS
MUCHAS GRACIAS DOCTOR.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO:

POR PERTENECER HA ESTA GRAN INSTITUCION, QUE LA RESPETAREMOS Y HONRRAREMOS EN CUALQUIER MOMENTO.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA:

POR LOS ESTUDIOS ADQUIRIDOS Y LA FORMACION QUE LOGRO DARNOS.

AL INSTITUTO DE INGENIERIA:

POR EL INMENSO APOYO PARA REALIZAR ESTA TESIS.

A LOS PROFESORES:

POR SU GRAN ENSEÑANZA ADENTRO Y FUERA DE LAS AULAS DE CLASES.

TAMBIEN:

AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUN MODO COLABORARON, AYUDARON Y PRESTARON SU APOYO PARA NUESTRA FORMACION PROFECIONAL.

1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS EXPERTOS	1
1.1. ANTECEDENTES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	2
1.1.1. ¿QUE ES LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?	2
1.1.2. CAMPO DE ESTUDIO	3
1.1.3 LENGUAJES Y HERRAMIENTAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	4
1.2. SISTEMAS EXPERTOS	5
1.2.1. ÉPOCAS EN LA HISTORIA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS	7
1.2.1.1. SISTEMAS EXPERTOS REPRESENTATIVOS EN LAS DIFERENTES ÉPOCAS	8
1.2.2. TIPOS DE SISTEMAS EXPERTOS	9
1.2.3. LAS VENTAJAS DEL USO DE SISTEMAS EXPERTOS SON	11
1.2.4. CAMPOS DE APLICACIÓN	12
1.3. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO	13
1.4. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INFERENCIA	15
1.4.1. MECANISMOS DE RAZONAMIENTO	15
1.4.2. ELECCIÓN DEL CONOCIMIENTO	21
1.4.3. META CONOCIMIENTO	21
1.4.4. LÓGICA	22
1.4.5. EVALUACIÓN DEL CONOCIMIENTO	23
1.5. TÉCNICAS DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO	24
1.5.1. REGLAS DE PRODUCCIÓN	24
1.5.2. REDES SEMÁNTICAS	25
1.6. DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO	26
1.7. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS	27
1.7.1. ANÁLISIS Y FORMULACION DEL PROBLEMA	28
1.7.1.1. CRITERIO DE SELECCION DE PROBLEMAS	28
1.7.1.2. PARTICIPANTES	29
1.7.2. ADQUISICION Y CONCEPTUALIZACION	29
1.7.2.1. ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO PRIVADO	29
1.7.3. REPRESENTACION E IMPLEMENTACION	30
1.7.4. VERIFICACION Y VALIDACION	31
1.8. CICLO DE VIDA DE UN SISTEMA EXPERTO	32
2. AIRE COMPRIMIDO	33
2.1 AIRE COMPRIMIDO	34
2.1.1. LEY DE BOYLE	36
2.1.2. LEY DE CHARLES	36
2.1.3. LEY DE AMONTON	37
2.1.4. LEY DE DALTON	37

2.1.5.	LEY DE AMAGAT	37
2.1.6.	LEY DE AVOGRADO	37
2.1.7.	LEY GENERAL DE LOS GASES	37
2.2.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO	38
2.3.	APLICACIONES DEL AIRE COMPRIMIDO	39
2.4.	CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO	40
2.4.1.	FACTORES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO	41
3.	COMPRESORES Y EQUIPO ADICIONAL	45
3.1.	COMPRESIÓN DE AIRE	46
3.2.	MÉTODOS DE COMPRESIÓN	46
3.3.	TIPOS DE COMPRESORES	47
3.3.1.	COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	47
3.3.1.1.	COMPRESORES RECIPROCANTES O ALTERNATIVOS	47
3.3.1.1.1.	COMPRESORES DE PISTÓN LIBRE	48
3.3.1.1.2.	COMPRESORES DE PISTÓN TIPO LABERINTO	49
3.3.1.2.	COMPRESORES ROTATIVOS	50
3.3.1.2.1.	COMPRESORES DE ALETAS	50
3.3.1.2.2.	COMPRESORES DE ANILLO LIQUIDO	51
3.3.1.2.3.	COMPRESORES DE TORNILLO	52
3.3.1.2.4.	COMPRESORES DE LÓBULOS	53
3.3.2.	COMPRESORES DINAMICOS	54
3.3.2.1.	EYECTOR	55
3.3.2.2.	COMPRESORES CENTRIFUGOS	55
3.3.2.3.	COMPRESORES AXIALES	56
3.4.	COMPONENTES DE UN COMPRESOR	58
3.4.1.	FILTRO DE ENTRADA	58
3.4.2.	FILTRO DE LABERINTO SECO	58
3.4.3.	FILTRO DE LABERINTO EN BAÑO DE ACEITE	59
3.4.4.	FILTRO DE PAPEL	59
3.5.	SISTEMAS DE UN COMPRESOR	60
3.5.1.	SISTEMA DE LUBRICACION	61
3.5.1.1.	LUBRICACION POR SALPICADURA	61
3.5.1.2.	LUBRICACION POR ANILLO	61
3.5.1.3.	LUBRICACION POR PRESION	62
3.5.1.4.	LUBRICACION POR INYECCION	62
3.5.2.	SISTEMA DE REGULACION	63
3.5.3.	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	63
3.5.3.1.	ENFRIAMIENTO POR AIRE	64
3.5.3.2.1.	CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	67

3.5.3.2.2.TIPO DE CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO	68
3.5.3.2.2.1.CIRCUITO CONTINUO	69
3.5.3.2.2.2.CIRCUITO ABIERTO	69
3.5.3.2.2.3.CIRCUITO CERRADO	70
3.5.3.2.2.4.CIRCUITO CERRADO UTILIZANDO REGFRIGERACION POR INYECCION	71
3.5.4.SISTEMA DE SUPERVISION Y PROTECCION	71
3.6.ACESORIOS POSTERIORES AL COMPRESOR	72
3.6.1.SECADO DE AIRE COMPRIMIDO	72
3.6.1.1.SOBRECOMPRESION	72
3.6.1.2.ENFRIAMIENTO	73
3.6.1.3.ABSORCION	74
3.6.1.4.ADSORCION	75
3.6.2.TANQUE RECIBIDOR	77
3.7.INSTALACION DE SISTEMAS DE COMPRESION DE AIRE	77
3.7.1.INSTALACION CENTRALIZADA O DESCENTRALIZADA	77
3.7.1.1.CENTRALIZADA	78
3.7.1.2.DESCENTRALIZADA	78
3.7.1.3.CANTIDAD DE UNIDADES COMPRESORAS	78
3.7.2.LOCALIZACION DE LA PLANTA COMPRESORA	79
3.7.2.1.CARACTERISTICAS O REQUERIMIENTOS DE LA SALA COMPRESORA	80
3.7.2.1.1.EL LOCAL	80
3.7.2.1.2.BASE DE LOS COMPRESORES	81
3.7.2.1.3.SISTEMAS AUXILIARES	82
3.7.2.1.4.VENTILACION	83
3.7.2.1.4.1.VENTILACION DE LA SALA DE COMPRESORES	83
3.7.2.1.4.2.VENTILACION PARA LA TOMA DE AIRE DE LA ENTRADA DEL COMPRESOR	84
3.7.2.1.4.2.1.AIRE DE ASPIRACION TOAMADO DE LA PROPIA SALA DE COMPRESORES	84
3.7.2.1.4.2.2.AIRE DE ASPIRACION TOMADO FUERA DE LA SALA DE COMPRESORES A TRAVES DE UN DUCTO DE ENTRADA DE AIRE	85
3.7.2.1.5.EL EQUIPO ELECTRICICO Y DE CONTROL	86
3.7.2.1.5.1.EL MOTOR ELECTRICO	86
3.7.2.1.5.2.EL ARRANCADOR DEL MOTOR ELECTRICO	87
3.7.2.1.5.3.EL CONTROL AUTOMATICO DE CARGA Y DESCARGA	87
3.7.2.1.5.4.CONTROL DE PRESION	87
3.7.2.1.5.5.CONTROL DE TEMPERATURA	88
3.8. COMPONENTES DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO	88
3.8.1.LINEA PRINCIPAL	89
3.8.2.LINEA DE DISTRIBUCION	89
3.8.2.1.LA DE ANILLO	89

3.8.2.2.LA DE LINEA	90
3.8.3.LINEA DE SERVICIO	90
3.8.4.ACESORIOS DE LINEA	91
3.8.5.UBICACION DE LA RED O REDES DE DISTRIBUCION DE AIRE COMPRIMIDO	92
3.8.5.1.RED INTERNA DE TUBERIAS DE DISTRIBUCION DE AIRE COMPRIMIDO	92
3.8.5.1.1.POR EL SUELO, EN ZANJAS, CON RAMALES SECUNDARIOS	93
3.8.5.1.2.SUSPENDIDAS DE LAS PAREDES O DEL TECHO	93
3.8.5.2.RED EXTERNA DE TUBERIAS DE DISTRIBUCION DE AIRE COMPRESO	94
3.8.5.2.1.POR EL SUELO, EN ZANJAS, CON RAMALES SECUNDARIOS	95
3.8.5.2.2.SUSPENDIDAS EN POSTES	96
3.8.5.3.EL PROBLEMA DEL ACEITE	96
3.8.5.3.1.¿ QUE EFECTOS PRODUCEN ?	97
3.8.5.3.2.METODOS PARA CONTROLAR EL ACEITE	97
3.8.5.4..EL PROBLEMA DEL CONDENSADO	98
3.8.5.4.1.¿ QUE EFECTOS PRODUCE EL CONDENSADO DE AGUA ?	98
3.8.5.4.2.METODOS PARA CONTROLAR EL CONDENSADO DE AGUA	98
3.9.SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AIRE COMPRIMIDO	99
3.9.1.DISEÑO DEL SISTEMA	99
3.9.1.1.CAPACIDAD DE AIRE REQUERIDA	99
3.9.1.1.1.PRESION DE AIRE	100
3.9.1.1.2.VOLUMEN DE AIRE	100
3.9.1.2.CALIDAD DE AIRE REQUERIDA	101
3.9.1.3.TIPO DE COMPRESOR REQUERIDO	102
3.9.1.4.DISEÑO OPTIMIZADO DEL SISTEMA DE COMPRESION DE AIRE	102
3.9.1.5.DIMENSIONES DEL SISTEMA	104
3.9.1.6.SELECCION DE LOS ACCESORIOS DE LINEA	104
4. AHORRO ENERGÉTICO	106
4.1 RECUPERACIÓN DE CALOR	106
4.1.1. RECUPERACIÓN DE CALOR CUANDO SE EMPLEA AGUA COMO MEDIO DE	107
4.1.2. RECUPERACIÓN DE CALOR CUANDO SE EMPLEA AIRE COMO MEDIO D	108
4.1.2.1. LOS COMPACTOS	108
4.1.2.2. LOS CONVENCIONALES	108
4.1.3. PUNTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR	110
4.1.3.1. LIMITACIONES	110
4.1.3.1.1. LA DISPONIBILIDAD	110
4.1.3.1.2. LA TEMPERATURA	110
4.1.3.1.3.¿ COMO PUEDEN SOLVENTARSE ESTAS LIMITACIONES ?	111
4.1.3.2. APLICACIONES DEL AIRE / AGUA EN LA INDUSTRIA	111

4.1.3.2.1. AGUA CALIENTE	111
4.1.3.2.2. AIRE CALIENTE	112
4.1.3.3. FACTORES QUE HAY QUE TENER EN CUENTA	112
4.2. FUGAS DE AIRE EN LA RED	112
4.2.1.¿ COMO PODEMOS DETECTAR LAS FUGAS DE AIRE ?	114

5. DESARROLLO Y CARACTERÍSTICAS DE SECOM	116
5.1 ALCANCE DE LA APLICACION	116
5.2. ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO	117
5.3. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO	117
5.4. ESTRUCTURA DE SECOM	118
5.5. PROGRAMAS DE ENLACE	120
5.6. COMUNICACION CON EL USUARIO	120
5.7. REQUERIMIENTOS	120
5.8. OPERACIÓN DEL SECOM: SISTEMA EXPERTO DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA	121
5.8.1. MODULO 1. ANALISIS DE UNA NUEVA INSTALACION DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	122
5.8.2. MODULO 2. ANALISIS DE ENERGIA DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	145
5.8.3. MODULO 3. MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR, SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AIRE COMPRIMIDO	159
5.8.4. MODULO 4. INTRODUCCION A LA TEORIA DEL AIRE COMPRIMIDO	164
5.9. RESULTADOS	171
5.10. CONCLUSIONES	171
5.11. RECOMENDACIONES	172

BIBLIOGRAFIA	173
--------------	-----

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

A finales de 1989, se inicia un programa denominado Sistemas Expertos Aplicados a la Ingeniería bajo la dirección del Dr. Felipe Lara Rosano, en la Coordinación de Sistemas del Instituto de Ingeniería. El objetivo primordial del proyecto es desarrollar Sistemas Expertos que tengan alguna aplicación práctica para resolver problemas concretos, que se presentes en las diferentes ramas de la Ingeniería.

Varios ejemplos, que muestran el desarrollo de Sistemas Expertos en el Laboratorio de Inteligencia Artificial son :

SELIUM : Sistema Experto para la iluminación industrial.

CALDERAL: Sistema Experto para Ahorro Energético en Calderas.

CALIDAD1: Sistema Experto en Gráficas de Control.

SEGO : Sistema Experto en la Exploración Geométrica en el Valle de México.

SEOV : Sistema Experto de Orientación Vocacional.

TUTEX : Sistema Experto en el uso de Explosivos.

SETNBD: Sistema Experto Tutorial en Normalización de Base de Datos.

SETCE : Sistema Experto Tutorial en Cogeneración de Energía.

SECOM: Sistema Experto para la Evaluación Energética de Compresores de Aire en la Industria.

Se da una breve explicación del desarrollo, características, la estructura y los alcances del sistema experto de compresores (SECOM).

El sistema experto SECOM, es un sistema experto que ayuda a la evaluación energética de un sistema de aire comprimido, partiendo desde el análisis de un nuevo sistema de aire comprimido hasta la evaluación de uno ya existente y funcionando en forma real.

SECOM, también proporciona información introductoria a la teoría del aire comprimido, a los sistemas de aire comprimido, y al ahorro de energía de un sistema de aire comprimido (para este caso, son las técnicas de recuperación de calor).

A su vez, SECOM funciona como un tutorial de aprendizaje a los estudiantes que se inician en el estudio de los sistemas de aire comprimido, ya que este sistema experto fué diseñado con el panorama o propósito, de que no solo personas conocedoras de la materia tuviese acceso al sistema, sino que también, todas aquellas personas que se inician en ella, encontrando en el sistema experto una base o inicio para su preparación.

CAPITULO 1
INTELIGENCIA ARTIFICIAL
Y SISTEMAS EXPERTOS

1.1. ANTECEDENTES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En las últimas décadas se ha producido un gran desarrollo en el campo de la Inteligencia Artificial (IA). Se puede considerar que este tuvo sus orígenes a principios de los 50's, con la publicación de "Computing Machinery and Intelligence" de A.M. Turing. En la investigación de los principios básicos surgía el deseo de realizar una especie de cerebro electrónico con un ordenador. La década de los sesenta se caracterizó por ser años de desarrollo, de redireccionamiento y de resolución general de problemas, siendo entonces cuando aparecieron los primeros programas de ajedrez. Con el descubrimiento de sistemas basados en el conocimiento a mediados de los setenta, se iniciaron años de especialización y éxitos en distintos subcampos de la Inteligencia Artificial.

En el desarrollo de conocimientos que constituyen hoy la Inteligencia Artificial se pueden diferenciar tres épocas:

- i) *ETAPA INICIAL.* Que comprende la creación de técnicas básicas para representar el conocimiento inteligente tanto a nivel de métodos como de lenguajes. Este período abarca de 1956 a 1970.
- ii) *ETAPA DE PROTOTIPOS.* En la que se desarrollan proyectos más complejos pero todavía limitados a centros de investigación. Este segundo período abarca de 1970 a 1981.
- iii) *ETAPA DE DIFUSIÓN INDUSTRIAL.* Se desarrollan proyectos comerciales por parte de empresas privadas. Este tercer período inicia a partir de 1981.

1.1.1. ¿QUE ES LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

El concepto de Inteligencia Artificial (IA) se utiliza para denotar un campo de investigación sobre la estructura y las funciones del comportamiento inteligente, cuyo objetivo es el de resolver problemas a partir de sistemas que actúen en forma similar a los organismos que poseen esta característica.

La base teórica de la IA fue tomando forma desde principios de los años cuarentas, sin embargo, no fue sino hasta la siguiente década cuando los equipos de cómputo existentes tuvieron el nivel adecuado para poder programar los procesos involucrados en sus investigaciones.

Los programas de computación que interesan a la IA son primariamente procesos simbólicos que implican complejidad, incertidumbre y ambigüedad. Son procesos que requieren búsqueda, pues no admiten soluciones algorítmicas. Por tanto, la IA trata de resolver problemas y tomar decisiones similares a las que los seres humanos afrontan continuamente en su relación con el mundo. Aunque la mayoría de los intentos para definir con precisión los complejos y amplios términos anteriores son ejercicios fútiles, es útil esbozar como mínimo una frontera aproximada alrededor del concepto para proporcionar una perspectiva de ello.

John McCarthy, Marvin Minsky del M.I.T., Allen Newell y Hebert Simon de la Universidad Carnegie-Mellon y otros seis estudiosos establecieron las bases de la IA.

" La Inteligencia Artificial es el conjunto de técnicas que se aplican en el diseño de programas que tengan capacidad de razonar, en el sentido de inferir nueva información, y que por la dificultad del problema a resolver requieren una solución con un grado de inteligencia."

Elain Rich definió la Inteligencia Artificial como :

"El estudio de cómo hacer que los ordenadores hagan cosas que, en estos momentos, hace mejor el hombre".

Alexander Spörl, a finales de los 60 escribe sobre la definición de Inteligencia Artificial:

"Bajo inteligencia entiendo la capacidad de un ser vivo o de una máquina de ordenar informaciones externas, observaciones, experiencias, descubrir interrelaciones, valorarlas con las informaciones para abstraer de esta forma cosas y poderlas ligar entre sí"

1.1.2. CAMPO DE ESTUDIO

Así como es verdad que uno de los fines que persigue la IA es imitar algunas de las funciones cerebrales, también es cierto que muchas de esas funciones están muy lejos de ser imitadas por las computadoras. Por el contrario, uno de los objetivos inmediatos de la IA si es dotar a los sistemas inteligentes de los sentidos para resolver rápidamente una cuestión, sin necesidad de emprender una ardua búsqueda entre el sin fin de posibilidades, guiados por el sentido común. De hecho, ya se han obtenido resultados parciales y se han desarrollado máquinas que juegan ajedrez cuyos programas han sido sumamente exitosos, al grado de que son capaces, con gran destreza, de evaluar las condiciones del juego en el tablero, analizar las posibilidades y valorar las estrategias. Sin duda el ajedrez exige una sobrada capacidad intelectual, dada la impresionante arborización de jugadas posibles que se presentan en un duelo de este tipo; pero las computadoras logran procesar solo la información relevante y discriminar muchas opciones que no tendrían éxito. Sin embargo, las condiciones actuales imponen un mayor uso de recursos para enseñar a las máquinas a seleccionar y tomar decisiones.

Para avanzar en la IA, simulando la inteligencia humana, será necesario además construir en las máquinas esquemas de todas las cosas, con el requisito de que sean genéricas y flexibles, como es en nosotros. Todo lo anterior sugiere la relación simbiótica que se ha establecido entre las neurociencias y la IA, en la que ambas extraen conocimientos que en ocasiones resultan insospechados.

Por lo que el desarrollo de la IA ha conformado un extenso campo de investigación pura y aplicada, dentro del que se cuentan las siguientes áreas (Lara y Gelman, 1989):

- Solución heurística de problemas.
- Representación del conocimiento.
- Sistemas expertos.
- Redes neuronales.
- Recuperación inteligente de la información.
- Demostración automática de conjeturas.
- Percepción y reconocimiento de formas.
- Aprendizaje.
- Procesamiento de lenguaje natural y traducción automática.
- Robótica.
- Programación automática.

Todavía quedan problemas por resolver para lograr que las computadoras adquirieran algunos de los principios que las convertirán de verdad en entes inteligentes. Uno de ellos es el aprendizaje. En nosotros se lleva a cabo toda una serie de cambios moleculares y estructurales que facilitan la transmisión de la información en el cerebro y permite adquirir conocimientos nuevos, fenómeno que será muy difícil de inducir en las máquinas. No obstante, el ingenio del ser humano puede realizar otras maravillas como esa misma, crear inteligencia en las computadoras.

1.1.3 LENGUAJES Y HERRAMIENTAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La informática ha desarrollado lenguajes de programación específicos de alto nivel para los diferentes campos de aplicación. Lo mismo ha ocurrido con la IA ya que LISP, PROLOG, Logic Tree, ExSys Professional y Level5 Object son algunos ejemplos de los lenguajes de programación y de herramientas de la IA. Por ejemplo, con LISP se han elaborado software para expresar conocimientos, formulando sistemas expertos y desarrollando ayudas básicas de programación.

El hecho de utilizar a las computadoras para afrontar problemas cuya solución implica un cierto grado de comportamiento inteligente, constituye un nuevo paradigma en el desarrollo de las ciencias computacionales, ya que rompe con la idea tradicional de que los equipos de cómputo electrónico son útiles al proceso de toma de decisiones únicamente en su carácter de procesadores numéricos capaces de manipular con rapidez y efectividad grandes cantidades de información. En contraposición, la IA pretende hacer funcionar eficientemente a la computadora en campos de trabajo donde -por el estado tecnológico actuales- superada por las capacidades naturales del ser humano (Charniak y McDermott, 1985).

1.2. SISTEMAS EXPERTOS.

Los Sistemas Expertos (SE) son el resultado de pretender simular o reproducir el comportamiento de un solucionador de problemas inteligentes en un programa de computadora. Los primeros intentos se dirigieron al desarrollo de solucionadores de problemas generales; más tarde se determinó que estos programas serían débiles, a menos que el conocimiento específico acerca del problema a solucionar se sumara a la guía para llegar a la solución.

Los Sistemas Expertos (SE's), a diferencia de los sistemas convencionales, pueden manejar los dos tipos de conocimiento (Pagnoni 1985):

- a) *El formal*: a éste tipo de conocimiento se le puede acceder con relativa facilidad, ya que está integrado por definiciones, hechos, teoría de literatura, etc.
- b) *El informal*: también conocido como heurístico, es aquel conocimiento que abarca "reglas de dedo" desarrolladas por expertos a lo largo de su vida profesional para enfrentar con efectividad problemas complejos, vagamente definidos, y situaciones de incertidumbre que no se ajustan a un método riguroso. La extracción, articulación y computarización de éste conocimiento, es la tarea fundamental al construir un SE.

Para hacer posible ésta tarea los SE's se basan principalmente en tres formas de representar el conocimiento que son las siguientes:

- 1) *Reglas de Producción*. También conocidas como juicios hipotéticos, son una estructura lógica formada por un conjunto de condiciones que deben ser cumplidas y una parte concluyente formada por una proposición que se verifica al verificarse las condiciones.
- 2) *Conceptos Estructurados*. Se pueden definir como un bloque de conocimiento que contiene la información relevante respecto de un objeto, representada en un formato precisos. Esta información se puede clasificar como: El nombre del objeto, los géneros próximos del objeto en una estructura lógica definida, las cualidades o atributos del objeto, y las condiciones para acceder la información del objeto y/o modificarlas
- 3) *Redes Semánticas*. En ésta forma de representación del conocimiento los conceptos se representan como nodos de una red y las relaciones que se establecen entre los conceptos como los arcos de la red. Como puede haber un gran número de tipos de relaciones entre los conceptos: género, pertenencia, propiedad, etc., hay una gran variedad de arcos relacionales.

El comité de especialistas en sistemas expertos de la British Computer Society ha definido los Sistemas Expertos como :

"La implantación de un sistema de computación de una base de conocimientos especializada y versada, de modo que la máquina pueda ofrecer consejo inteligente o tomar una decisión sobre una función del proceso. Una característica necesaria e inseparable de este tipo de Sistemas es su capacidad de justificar, si así se solicita, su línea de razonamiento, de forma directamente intangible por el usuario"

"Se puede definir un SE en forma funcional como un sistema que permite la resolución de problemas en un dominio específico (medicina, geología, química, etc.), utilizando una base de conocimientos adquirida de los expertos del dominio y un mecanismo de razonamiento característico de los expertos". (Pinson 1981)

"Un SE es un sistema informático que incorpora, en forma operativa, el conocimiento de una persona experimentada, de forma que es capaz de responder como esta persona, como de explicar y justificar sus respuestas". (Cuenca 1986)

"Un Sistema Experto es un programa inteligente de computador, que usa procedimientos de conocimiento e inferencia para solucionar problemas que son suficientemente difíciles como para requerir experiencia humana en su solución. El conocimiento necesario para operar en tal nivel, añadido a los procedimientos de inferencia utilizados, puede ser considerado como un modelo de la experiencia de los mejores operadores de dicho campo" (Feigenbaum)

Un Sistema Experto es un programa de ordenador que reemplaza a un Experto Humano (Experto humano: Es una persona que es competente en un área determinada del conocimiento o del saber). Internamente, un Sistema Experto ideal se puede caracterizar cómo un sistema que comprende:

- Amplio conocimiento específico a partir del campo de interés.
- Aplicación de técnicas de búsqueda.
- Soporte para análisis heurístico.
- Habilidad para inferir nuevos conocimientos a partir de conocimientos existentes.
- Procesamiento de símbolos.
- Capacidad para explicar su propio razonamiento. (Forsty 1986)

"Los SE son programas sofisticados de computación que manipulan conocimientos de expertos para resolver eficiente y efectivamente problemas de un área específica". (Marik 1987)

"Un SE es un programa de computadora que haciendo uso del conocimiento y la inferencia realiza una tarea difícil de algún campo en particular, que generalmente sólo puede llevar a cabo un experto humano, ya que la solución implica su pericia". (Parsaye y Chignell 1988)

"Los SE's son programas de computadora en los que, a diferencia de los programas tradicionales, no se ha vertido una solución dada a un problema, sino el conjunto de conocimientos y reglas de operación de un experto humano, en torno a un problema específico, que le permiten al programa, a semejanza del experto humano, buscar la mejor solución, entre un gran número de posibilidades, atendiendo a la naturaleza del problema y a la situación contextual en el que éste se da". (Lara 1992)

Los Sistemas Expertos son, pues, programas de ayuda a la toma de decisiones con niveles de competencia similares a los campos alcanzados por los seres humanos en campos específicos del conocimiento. Esto significa que en un programa de ordenador disponemos de estrategias de solución y conocimientos de expertos, con los que podremos solucionar problemas de una forma casi inteligente.

Los Sistemas Basados en el Conocimiento (SBC) usan representación explícita del conocimiento separando la base de conocimiento del mecanismo de inferencia. Los SE's pertenecen a los SBC's, con la capacidad de explicar y justificar su comportamiento. Es condición crucial para un SE tener una interfaz explicativa, ya que ésta sirve para que el usuario dé validez al razonamiento del sistema en una consulta. El sistema debe poder contestar (por lo menos) por qué hace ciertas preguntas y cómo llegó a algunas conclusiones (Kim y Connor 1988).

En un comienzo los SE's se programaban con lenguajes convencionales. En la actualidad, se han desarrollado los lenguajes llamados *shells* que son esqueletos de SE's listos para ser llenados de conocimiento. La ventaja (y la desventaja) de estos lenguajes es que fueron desarrollados para determinado tipo de conocimiento especializado.

TAREAS	PROGRAMAS CONVENCIONALES	SISTEMAS EXPERTOS
Representación y uso de	Datos	Conocimiento
Conocimiento y Control	Integrados	Separados
Proceso de solución	Algorítmico (repetitivo)	Heurístico (Inferencial)
Manipulación efectiva	Grandes bases de datos	Grandes bases de conocimiento
Programación	El programador garantiza que su respuesta es única y completa	El ingeniero del conocimiento proporciona restricciones únicas y completas
Explicación	Imposible a media corrida	Se puede lograr
Orientación	Procesos numéricos	Proceso simbólico

Tabla 1: Comparación de los Sistemas Expertos con programas

1.2.1. ÉPOCAS EN LA HISTORIA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

Se divide en 3 ,épocas.

- La primer ,época llega hasta el año de 1974, se crearon las bases teóricas que van a posibilitar la concepción de los Sistemas Expertos; también se desarrollan los lenguajes de programación y ordenadores.

- La segunda época (1974-1984) en ella se construyen el MYCIN, PROSPECTOR, DENDRAL y se pone en marcha el proyecto de ordenadores de quinta generación.
- La tercera época (1984-) Se caracteriza por la gran difusión de los lenguajes especializados, herramientas y diversas aplicaciones.

1.2.1.1. SISTEMAS EXPERTOS REPRESENTATIVOS EN LAS DIFERENTES ÉPOCAS.

Los Programas que han sido representativos en la evolución de los Sistemas Expertos son:

- ⇒ DENDRAL.- Creado en 1965 por Stanford que realiza una deducción sobre información de estructuras químicas.
- ⇒ MACSYMA.- Creado en 1965 por MIT y que realiza un análisis matemático complejo
- ⇒ HEARSAY.- Creado en 1965 por Carnegie-Mellon y que realiza una interpretación en Lenguaje Natural un subconjunto de idioma.
- ⇒ MYCIN.- Creado en 1972 por Stanford y realiza un diagnóstico de enfermedades de la sangre, que consta de tres partes: Consultor, Explicador, y el adquiridor de conocimiento.
- ⇒ TEIRESIAS.- Creado en 1972 por Stanford y que funciona como herramienta para transformación de conocimientos.
- ⇒ PROSPECTOR.- Creado en 1972 por Stanford Research Inst., su tema principal fue Exploración mineral y herramientas de identificación.
- ⇒ AGE.- Creado en 1973 por Stanford y que sirvió como herramienta para generar Sistemas Expertos.
- ⇒ OPS5.- Creado en 1974 por Carnegie-Mellon y funciona como herramientas de desarrollo de Sistemas Expertos.
- ⇒ CADECEUS.- Creado en 1975 por la Universidad de Pittsburg, que fue utilizado como herramienta de diagnóstico para medicina interna
- ⇒ R1.- Creado en 1978 por Carnegie-Mellon que realiza configuraciones de equipos de computación para la DEC.
- ⇒ ROSIE.- Creado en 1978 por Rand y funciona como herramientas de desarrollo de Sistemas Expertos.

En un Sistema Experto se encuentra recogido el conocimiento de un humano en una área determinada del saber (como por ejemplo concesión de créditos, análisis de inversiones, diseño de circuitos, mecánica de automóviles, etc.), de forma que se puede interactuar con él (el Sistema Experto) para pedir consejo o ayuda en los mismos términos en los que se devolvería una consulta con un experto humano.

Un Sistema Experto es un programa de ordenador que se invoca como cualquier otro programa (procesador de textos, hoja electrónica, etc.) y que en el

momento de entrar en funcionamiento establece un diálogo con su usuario al cual se le van planteando cuestiones hasta que, finalmente, el programa vuelca su solución. Esta solución puede tener diversos aspectos, desde el simple diagnóstico de un fallo hasta un esquema de la disposición óptima de componentes en la superficie de una placa de circuito impreso.

En ocasiones, un Sistema Experto puede funcionar como subrutina de un programa principal, el cual realiza llamadas al Sistema Experto para obtener un resultado a partir de unos datos, de forma análoga a como un programa llama a otro programa tradicional para conseguir un dato.

1.2.2. TIPOS DE SISTEMAS EXPERTOS

Las principales aplicaciones ó tipos de SE's dentro de la Ingeniería se pueden dividir de acuerdo a la tarea a desarrollar en: (Hayes-Roth 1983)

1 **INTERPRETACIÓN.**- Infiriendo descripciones y situaciones a través de sensores de datos. Consiste en identificar las causas internas que provocan un problema o avería, a partir de la interpretación de datos previos sobre: el funcionamiento, la estructura del proceso y/o sistema a diagnosticar

Esta categoría incluye entendimiento de lenguaje, análisis de imágenes, interpretación de señales o dilucidar estructuras químicas y muchas clases de análisis inteligente. Un sistema de interpretación explica los datos observados asignándoles un significado simbólico para describir la situación o el estado actual del sistema.

2 **DIAGNOSTICO.**- Infiriendo un mal funcionamiento de un sistema por observación.

Esta categoría incluye diagnóstico médico, electrónico, mecánico o de programación entre otros. Los sistemas de diagnóstico típicamente relacionan las irregularidades de un comportamiento con sus posibles causas, usando una de dos técnicas. Un método esencialmente utiliza una tabla de asociación entre comportamientos y diagnósticos. El otro método combina el conocimiento del diseño del sistema con el conocimiento de defectos potenciales en el diseño, implantación o componentes para generar posibles malos funcionamientos en forma consistente con las observaciones.

3 **PREDICCIÓN.**- Infiriendo las consecuencias de situaciones dadas.

Esta categoría incluye pronósticos el clima, predicciones demográficas o de tráfico, estimaciones de cosechas o pronósticos militares. Un sistema de predicción típicamente emplea un modelo dinámico paramétrico con valores de parámetros ajustados a una situación dada. Las consecuencias inferidas del modelo forman las bases para las predicciones. Si se ignora la probabilidad de las estimaciones, los sistemas de predicción pueden generar un gran número de posibles escenarios.

4 DISEÑO.- Configurando objetos bajo restricciones.

Agilizan procesos iterativos donde se modifican los datos de entrada hasta que cumplan con las necesidades y/o restricciones del diseño.

Los sistemas de diseño desarrollan configuraciones de objetos que satisfagan las restricciones de los problemas de diseño. Esos problemas incluyen diseño de circuitos impresos, diseño de construcciones e inclusive problemas de costos. Los sistemas de diseño generan descripciones e objetos con varias relaciones con otros y verifican que estas configuraciones cumplan con las restricciones establecidas.

5 PLANEACIÓN.- Diseñando acciones.

Estos sistemas se especializan en problemas de diseño concernientes a objetos que desarrollan funciones. Incluyen programación automática en robots, proyectiles, rutas, comunicaciones, experimentos y problemas de planeación militar. Los sistemas de planeación emplean modelos de comportamiento para inferir los efectos de actividades planeadas.

6 MONITOREO.- Comparando observaciones del comportamiento de un sistema en características que parezcan ser cruciales para que un plan sea exitoso.

Estas características cruciales o puntos vulnerables corresponden a defectos potenciales en el plan. Generalmente los sistemas de monitoreo identifican estos puntos vulnerables en dos tipos. Un tipo de vulnerabilidad corresponde a condiciones asumidas cuya violación nulificaría el plan en forma racional. Otro tipo de vulnerabilidad surge cuando algunos efectos potenciales del plan violan una restricción de planeación. Muchos sistemas de monitoreo por computadora existen para plantas nucleares, tráfico aéreo, etc., aunque no existe en realidad un sistema experto de este tipo.

7 DEPURACIÓN.- Prescribiendo remedios a malos funcionamientos.

Estos sistemas utilizan las capacidades de planeación, diseño y predicción para crear especificaciones o recomendaciones para corregir un problema diagnosticado. Existen sistemas de depuración para programación por computadora en la forma de bases de conocimiento inteligentes y editores de texto, pero ninguno califica como sistema experto.

8 REPARACIÓN.- Ejecutando un plan para administrar un remedio para algún problema diagnosticado. Corrección o terapia: consiste en determinar las acciones concretas para resolución de un problema.

Estos sistemas incorporan las capacidades de depuración, planeación y ejecución. Los sistemas asistidos por computadora se utilizan en el campo de los automóviles, aviones y mantenimiento de equipos de cómputo entre otros. Los sistemas expertos apenas están ingresando a este campo.

9 **INSTRUCCIÓN.**- Diagnosticando y depurando el comportamiento de estudiantes.

Tipicamente estos sistemas empiezan construyendo una descripción hipotética el conocimiento del estudiante que se interpreta como el comportamiento del estudiante. Posteriormente se diagnostican las debilidades en su conocimiento y se identifica un remedio apropiado. Finalmente se planea un tutorial que interactue con el estudiante para cubrir sus necesidades de conocimiento.

10 **CONTROL.**- Interpretando, prediciendo, reparando y monitoreando el comportamiento de sistemas.

Consiste en conducir o guiar los procesos de manera secuencial (diagnóstico, reparación u otras tareas), según su tiempo de respuesta son de dos tipos: *Un SE de control en tiempo real*, es aquel en el que se realiza el proceso de corrección permanente y el que antes de recibir el siguiente datos ya ha ejecutado acciones de manera correcta. *Un SE de control en tiempo diferido*, es aquel en que los datos de entrada son interpretados y corregidos según consideraciones del sistema, pudiendo transcurrir un período de tiempo sin que el sistema trabaje correctamente.

Un sistemas experto de control gobierna el comportamiento en conjunto de un sistema. Para hacer esto, el sistema debe interpretar en forma repetitiva la situación actual, predecir el futuro, diagnosticar las causas de los problemas, formular un plan que remedie la situación y monitorear su ejecución para asegurar el éxito de la operación en su conjunto. El tipo de aplicaciones incluye el control de tráfico aéreo, control de misiles e inclusive manejo de negocios entre otros.

1.2.3. LAS VENTAJAS DEL USO DE SISTEMAS EXPERTOS SON:

Los Sistemas Expertos son programas de computadora en los que, a diferencia de los programas tradicionales, no sean vertido una solución dada a un problema, sino el conjunto de conocimientos y reglas de operación de un experto humano, en torno a un problema específico que le permiten al programa, a semejanza del experto humano, buscar la mejor solución entre un gran número de posibilidades, atendiendo a la naturaleza del problema y a la situación contextual en el que éste se da. Además, los Sistemas Expertos tienen incorporadas facilidades de explicación de cómo llegaron a determinada solución y, en ciertos casos, mecanismos para aprender de la experiencia.

Las ventajas de los Sistemas Expertos se mencionarán a continuación:

A) **Autonomía.**

Una vez que el Sistema Experto ha sido diseñado y completado, se hace autónomo, es decir, independiente de la presencia física del especialista;

B) **Reproducibilidad.**

El Sistema Experto en sí y el conocimiento que abarca son reproducibles a voluntad de su autor. Esto implica que, en caso de ser necesario, el producto puede reproducirse para dar servicio a miles de usuarios. Por otro

lado, en contraposición con la lentitud del proceso de formación de mentores especialistas, la reproducción de un Sistema Experto es del orden de unos minutos solamente;

C) Bajo costo de adquisición y operación.

En tanto que disponer permanentemente de un experto supone altos costos, un Sistema Experto requiere únicamente pagar por su diseño y construcción. Este costo después se distribuye entre todos los usuarios del sistema, por lo que el costo por copia es muy reducido;

D) Facilidad de distribución.

Por la naturaleza del sistema, pueden cubrirse necesidades en localizaciones geográficas muy dispersas y bajo condiciones de trabajo difíciles;

E) Mínimos requerimientos de Hardware

Los requerimientos de hardware se limitan a una computadora PC compatible con memoria RAM de 640K, que el tipo de más amplio uso en las empresas;

F) Flexibilidad para modificaciones y expansión

El Sistema Experto puede ser actualizado en el contenido de la información con fines de ampliación o profundización con sólo acceder a sus archivos de texto, ya que estos no forman parte integrante de las bases de conocimiento.

1.2.4. CAMPOS DE APLICACIÓN.

La aplicación de Sistemas Expertos (SE) será adecuada :

- a) Allí donde los expertos dispongan de conocimientos complejos en un área estrechamente delimitada y no existan teorías completas o algoritmos elaborados (o donde los existentes no puedan solucionar algunos problemas.
- b) Donde hay teorías, pero resulta prácticamente imposible analizar todos los casos teóricamente imaginables mediante algoritmos y en un espacio de tiempo razonable.

En estas situaciones hace falta el conocimiento que el experto ha adquirido por experiencia para llegar a una solución en un espacio de tiempo aceptable.

Ambos problemas se caracterizan además por el hecho de que, aunque es posible la existencia de una o más soluciones, la vía de la solución no está previamente fijada. Sin embargo, el experto encuentra a menudo la solución gracias a las informaciones que posee sobre el problema y a su experiencia. Mientras esta solución sea susceptible de repetición y en el planteamiento del problema esté claro, existe un razonamiento que puede ser reproducido por un Sistema Experto.

Debido a que la estructuración e implantación del conocimiento del experto requiere una gran cantidad de trabajo, sólo valdrá la pena realizar el esfuerzo de crear un Sistema Experto cuando un conocimiento sea válido durante un largo espacio de tiempo y vaya a ser utilizado por el mayor número posible de personas.

El Sistema Experto supone una descarga del experto en el trabajo rutinario, y cuando la labor del experto no está tan sobrecargada, se reducen las decisiones erróneas y se aceleran los procesos de toma de decisiones.

Además, los Sistemas Expertos. también justifican su aplicación en aquellos campos donde ocurra una de las siguientes circunstancias :

- Existencia de un número reducido de expertos en un área determinada del conocimiento.
- Necesidad de Experiencia en varios lugares simultáneamente.
- Necesidad de experiencia en entornos hostiles y penosos.
- Pérdida de la experiencia humana por fallecimiento o jubilación de expertos en el área.
- La tasa de recuperación de la inversión es elevada.
- El enfoque de la programación convencional no es posible o satisfactorio.

Los Sistemas Expertos no deben considerarse como soluciones aisladas respecto a otros desarrollos de software. La aplicación de la programación convencional debe realizarse allí donde tenga sentido hacerlo.

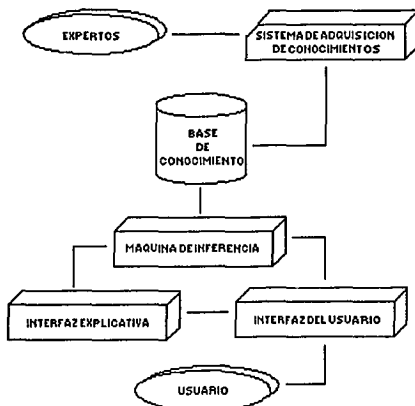
Los Sistemas Expertos están siendo utilizados en la actualidad en la resolución de una amplia gama de problemas prácticos de numerosos campos de la técnica, tales como la medicina, química, matemáticas, geología, educación e ingeniería, así como en aplicaciones financieras, de seguros, comerciales, y de servicios. Estas aplicaciones abarcan tareas de control de procesos, supervisión, diseño, diagnóstico, planificación, asesoramiento y formación.

Entre los Sistemas Expertos más conocidos es posible citar el MYCIN e INTERNIST, para diagnósticos médicos; DENDRAL y SECS, para análisis químicos; PROSPECTOR, para prospecciones geológicas; XCON, para configuración de ordenadores, etc., todos ellos de reconocida capacidad para resolver los problemas para lo que fueron diseñados.

1.3. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO.

Una característica decisiva de los Sistemas Expertos es la separación entre conocimientos (reglas, hechos) por un lado y su procesamiento por otro. La arquitectura de un Sistema Experto consta de cinco bloques funcionales:

- La Base de Conocimientos.
- El Mecanismo o Motor de Interferencia.
- El Componente Explicativo.
- La Interfase de Usuario.
- El Componente de Adquisición.



Arquitectura General de un Sistema Experto

1. La Base de Conocimientos del Sistema Experto:

Contiene el conocimiento científico-técnico y de la experiencia de los expertos en un dominio determinado, estructurado de tal forma que pueda ser interpretado por el mecanismo de inferencia. En ella no sólo se almacenan datos individuales, sino que contiene también objetos complejos, sus cualidades, relaciones entre objetos, y reglas para el procesamiento del conocimiento y para la derivación de mayor conocimiento a partir del ya existente, es decir también datos heurísticos.

2. El Mecanismo o Motor de Inferencia.

Es la unidad lógica con la que se extraen conclusiones de la base de conocimientos según un método fijo de solución de problemas que está configurado imitando el procedimiento de razonamiento de los expertos para solucionar problemas.

Una conclusión se produce mediante la aplicación de las reglas de la base de conocimientos sobre los hechos presentados. Las funciones del mecanismo de inferencia son :

- a) Determinación de las acciones que tendrán lugar, el orden en que lo harán y cómo lo harán, en las diferentes partes del Sistema Experto.
- b) Determinar cómo y cuándo se procederán las reglas, y dado el caso, también la elección de qué reglas deberán procesarse.
- c) Control del diálogo con el usuario.

3. El Componente Explicativo:

Dice al usuario la estrategia de solución encontrada y el porqué de las decisiones tomadas. Suministra y ofrece los motivos por los cuales han sido realizadas las preguntas, justifica las conclusiones y puede proporcionar características de los objetos tratados. El componente explicativo está también en situación de repetir el camino seguido hacia la solución y de justificar porqué no se tomaron otras vías posibles. Muchos componentes explicativos representan el progreso del razonamiento de forma gráfica, lo cual es a veces suficiente para los expertos pero no para el usuario, que a menudo desconoce las sutilezas del procesamiento de datos, por lo que se sigue trabajando para encontrar la forma de representar finalmente en un texto lo suficientemente inteligible las relaciones encontradas.

4. La Interfase de Usuario:

Sirve para que éste pueda realizar una consulta al Sistema Experto en un lenguaje lo más natural posible. En este componente se establece la forma en que el usuario responderá a las preguntas planteadas, cómo saldrán las respuestas del sistema a las preguntas que se le planteen o qué informaciones se representarán de forma gráfica.

5. Componente de Adquisición:

Ofrece ayuda para la estructuración e implantación del conocimiento experto en la base de conocimientos. A ser posible, la componente de adquisición debe poseer las cualidades siguientes:

- a) El conocimiento, es decir, las reglas, los hechos, las relaciones entre los hechos, etc., debe poder introducirse de la forma más sencilla posible.
- b) Posibilidad de representación clara de todas las informaciones contenidas en una base de conocimientos.
- c) Comprobación automática de la sintaxis.
- d) Posibilidad de acceso permanente al lenguaje de programación subordinado.

1.4. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INFERENCIA

1.4.1. MECANISMOS DE RAZONAMIENTO

Dada la importancia del mecanismo de razonamiento en un SE se hará una descripción más amplia:

El mecanismo de razonamiento, al cual se hace referencia también como "máquina de inferencia" o "estructura de control", es un conjunto de rutinas y estructuras tanto para la producción como para el control de decisiones, así

como para el manejo de preguntas al usuario. Esta parte del SE no debe contener, por lo menos teóricamente, información acerca del dominio específico del problema y debe contar con cierta independencia para permitir un grado de generalidad.

A pesar de lo anterior, la base de conocimientos y el mecanismo de razonamiento están íntimamente ligados, dado que la primera presenta la organización del conocimiento en base al cual el segundo va a trabajar. Existe entonces una estrecha relación entre la organización del sistema experto y su control.

Los mecanismos de razonamiento no pueden ser completamente independientes del tipo de problemas a resolver, sin embargo, estas rutinas de razonamiento preferentemente no deben ser tan especializadas, pues no podrían entonces aplicarse a otro tipo de problemas.

El razonamiento del sistema experto debe ser guiado de alguna manera, con el fin de proporcionar una secuencia de respuestas válidas y coherentes al usuario, presentando un medio ambiente aceptable. Para tal guía es necesario un conjunto de estrategias de control, las cuales son:

Estrategias de razonamiento.

Estrategias de explicación.

Estrategias de interpretación.

El poderío de un SE podría medirse de acuerdo a que tan correctamente son aplicadas las técnicas de razonamiento sobre el conocimiento almacenado. El éxito del sistema radicará en encontrar una buena respuesta a un problema en base a los recursos con que se disponga. La eficiencia en la búsqueda de soluciones afecta directamente al éxito del sistema.

El SE para un problema debe buscar una solución. Esta tarea le corresponde directamente al mecanismo de razonamiento. El acceso directo a una solución única no es posible en la mayoría de los casos. Generalmente son utilizadas técnicas de búsqueda, así como generadores de soluciones. Estos últimos permiten al sistema tener una visión general de todas las posibles soluciones al problema, permitiéndole probar cada una de ellas hasta encontrar la más apropiada.

Entre el método de búsqueda de soluciones, el más simple es el de analizar todas las alternativas una por una. A este método se le denomina de "fuerza bruta". El problema con este método es la existencia, en algunas ocasiones, de espacios de búsqueda de gran tamaño.

A continuación se citarán los métodos de búsqueda más comunes:

1. Elección de una dirección de solución.

a) *Encadenamiento hacia adelante.*— Cuando se tienen un conjunto de datos o de ideas básicas como punto de partida, el encadenamiento hacia adelante resulta una técnica natural para direccionar las soluciones de los problemas. Esta metodología ha sido utilizada por sistemas expertos en el área de análisis de datos, diseño, diagnóstico y formación de conceptos.

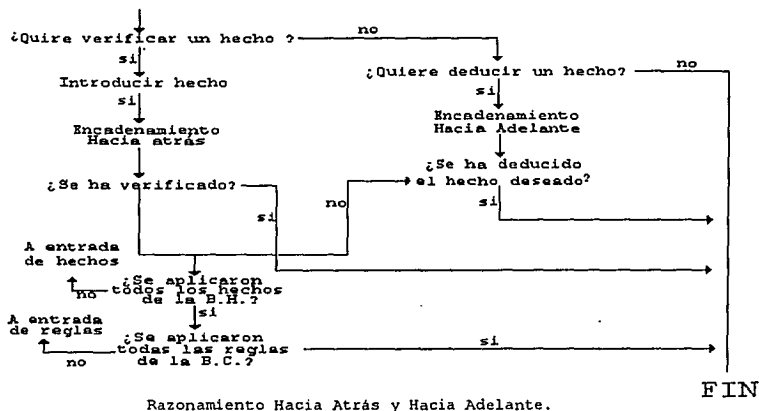
Un ejemplo ilustrativo es el sistema AM [Lenat 1976], que descubre conceptos matemáticos en base a la tarea de formación de conceptos. El sistema usa encadenamiento hacia adelante iniciando el proceso con ideas elementales de la teoría de conjuntos. Construye un espacio de búsqueda con todas las posibles conjeturas que pueden ser generadas de esas ideas elementales. Elige las conjeturas más interesantes y prosigue en una línea de razonamiento.

- b) *Encadenamiento hacia atrás.*- Esta aproximación es aplicable cuando nuestro punto de partida es una meta o hipótesis. Planificación es un buen ejemplo para este tipo de aproximación, debido a que la función del planificador es construir un plan para poder alcanzar las metas deseadas. Un planificador considerará su metas sin el consumo de recursos excesivos o la violación de restricciones. Si hay una meta en conflicto, el planificador tiene que establecer prioridades.

Un ejemplo ilustrativo es el sistema NOAH [Sacerdoti 1977]. Este sistema de planificación asigna un orden en el tiempo a los operadores de un plan. Los planes individuales se extienden en paralelo para que interactúen las submetas. Inicialmente se asigna un orden parcial de tiempo para los operadores y cuando se observan interferencias entre los planes parciales de submetas, se ajusta el orden de los operadores para poder resolver dichas interferencias.

- c) *Encadenamiento hacia adelante y hacia atrás.*- Cuando el espacio de búsqueda es grande, la técnica de doble búsqueda suele ser eficiente. El método consiste en tomar un estado inicial y las metas o hipótesis siguiendo un proceso de convergencia para poder igualar las soluciones en un punto intermedio. El método que se utiliza es parecido al de relajación. Esta aproximación también es muy útil cuando el espacio de búsqueda puede dividirse jerárquicamente. En tales casos, la búsqueda se combina apropiadamente en términos de "Top down" y "Bottom up". Una búsqueda de tal naturaleza se aplica en forma particular a problemas complejos, incorporando además incertidumbre.

Un ejemplo ilustrativo de esta técnica es el sistema HERSAY II [Erman 1980]. Este sistema cuya función es interpretar señales con el propósito de entender el habla, divide el problema jerárquicamente desde arriba en diferentes niveles, con oraciones en el tope y parámetros que miden señales en la parte inferior. El sistema hace un procesamiento "Top down" y "Bottom up" con una aproximación de relajación para ampliar y combinar los candidatos parciales.



d) Manejo de eventos.- Esta aproximación para encontrar soluciones de problemas es parecida al encadenamiento hacia adelante excepto que se basa en el estado actual del problema. La técnica va tomando las etapas subsiguientes en base a nuevos datos o en respuesta a un cambio de situación. La técnica de manejo de eventos es muy apropiada para operaciones en tiempo real, tal como monitoreo o control.

Un ejemplo ilustrativo es el sistema VM (Ventilator Manager) [Cherniack 1977], cuya función es interpretar en tiempo real el significado clínico de los datos que arroja un sistema de monitoreo fisiológico de aliento.

2. Razonamiento en la presencia de incertidumbre.

En muchos casos las soluciones de los problemas se conducen en presencia de incertidumbre en los datos o en el conocimiento. Para este tipo de problemas es posible utilizar técnicas numéricas, o también, las incertidumbres pueden ser manejadas con una aproximación de la forma de regreso de rastro. El razonamiento en la presencia de incertidumbre sucede en ejemplos típicos de diagnóstico y análisis de datos.

a) Procedimientos numéricos.- Los sistemas expertos cuya función consiste en el diagnóstico son algunos ejemplos que usan la técnica mencionada. Esto se debe a que los juicios de razonamiento dados en términos de reglas de condición-conclusión van acompañados de una estimación de incertidumbre.

Un caso concreto de sistema experto de diagnóstico es MYCIN [Shortliffe 1976], que tiene como propósito el diagnosticar infecciones bacterianas y recomendar la terapia en base a antibióticos.

b) Revisión de la Credibilidad o "Mantenimiento de la Verdad".- Con frecuencia la credibilidad y las líneas de razonamiento evolucionan en base a la información que se va tomando para el problema. cuando la información es parcial o errónea completamente, el sistema incurre en contradicciones y trae como consecuencia malas conclusiones, debiendo de

haber un proceso para retractarse. Para facilitar esto, es necesario mantener un registro en la base de datos de la credibilidad y su justificación. Usando esta aproximación es posible explotar las redundancias en los datos experimentales para mantener la verdad y así incrementar la confiabilidad del sistema.

3. Búsqueda en un espacio pequeño.

En general existen una gran cantidad de problemas que han sido enfocados en un contexto de espacio pequeño de búsqueda. En tales casos, una línea de razonamiento sencilla es suficiente de tal forma que no es necesario un retroceso. Estas técnicas han sido utilizadas en áreas de diseño, diagnóstico y análisis, y en la mayoría de los casos han usado una aproximación directa de búsqueda exhaustiva.

4. Búsqueda en un espacio grande.

a) *Generación y prueba jerárquica.*- El razonamiento de eliminación exhaustiva que puede ser apropiado para un espacio pequeño de búsqueda es ineficiente en espacios grandes. A menudo la búsqueda en un espacio de estados se formula en términos de "Generación y Prueba" que es equivalente a un razonamiento por eliminación. En este tipo de metodología el sistema genera soluciones plausibles y un probador "podará" las soluciones que fallan de acuerdo a un criterio apropiado.

Un caso concreto de aplicación es el sistema GAI [Stefik 1978], cuya función es la interpretación de datos sobre las medidas de elementos moleculares para inferir estructuras moleculares completas.

b) *Líneas múltiples de razonamiento.*- Esta metodología se utiliza para ampliar la cobertura de una búsqueda incompleta. En este caso, los programas de búsqueda pueden decrementar las oportunidades de descartar una buena solución de evidencia débil para llevar un número limitado de soluciones en paralelo, mientras se aclara cual de las soluciones es la mejor.

5. Métodos para manejar un espacio grande por transformación de espacios.

a) *Rompimiento del problema en subproblemas.*- La aproximación de rompimiento de un problema en subproblemas puede ser manejado en dos clases. La primera corresponde a una aproximación que mantiene a los problemas sin interactuar. Este tipo de técnica es posible cuando las tareas que se realizan para alcanzar una meta no interactúan. Desafortunadamente son pocos los problemas del mundo real que se pueden clasificar bajo esta clase.

Los subproblemas que interactúan es una clasificación más interesante. En una gran mayoría de problemas complejos que se han desglosado en subproblemas, se ha visto que los subproblemas interactúan de tal forma que las soluciones válidas no pueden encontrarse independientemente. Sin embargo, tomando ventaja de los espacios pequeños de búsqueda, se han ideado algunas aproximaciones a lo anterior para poder tratar satisfactoriamente con tales interacciones.

b) *Refinamiento jerárquico.*- A menudo los aspectos más importantes de un problema son la abstracción y el desarrollo de soluciones de alto nivel. Esta solución puede ser entonces refinada iterativamente de acuerdo a los detalles que se incluyen en el problema.

Esta técnica tiene muchas aplicaciones cuando el espacio de búsqueda en el nivel más alto es pequeño. El resultado de las soluciones en un alto nivel restringe la búsqueda a una porción más pequeña del espacio de búsqueda a nivel próximo inferior; de tal forma que cada nivel de solución puede ser prontamente encontrado. Este procedimiento es una técnica importante para prevenir explosiones combinatoriales en la búsqueda de una solución.

c) *Resolución jerárquica dentro de subespacios que colaboran.*- Algunos problemas pueden tener su espacio o solución jerárquica resuelto dentro de subespacios que contribuyen entre sí; es decir, los elementos de los espacios de alto nivel están compuestos de elementos de los espacios inferiores. los subespacios heterogéneos resultantes son fundamentalmente diferentes del nivel tope del espacio solución. Sin embargo, las soluciones candidatas para cada nivel son muy útiles para restringir el rango de búsqueda a los niveles adyacentes. De esta forma estos candidatos actúan como una importante restricción para la explosión combinatoria.

6. Métodos para manejar un espacio grande por desarrollo de alternativas o espacios adicionales.

a) *Empleo de modelos múltiples.*- Frecuentemente la búsqueda para una solución utilizando un modelo global es muy difícil. El uso de modelos alternativos para el total o parte del problema puede simplificar grandemente la búsqueda.

El sistema SYN [Kleer 1980] es un ejemplo que combina los esfuerzos de modelos múltiples para emplear formas equivalentes de circuitos eléctricos.

b) *Meta-razonamientos.*- Es posible añadir extractos de espacios al espacio de búsqueda para así ayudar a decidir que hacer enseguida. Se puede pensar en ellos como estrategias y elementos tácticos que son elegidos entre varios métodos potenciales para decidir qué hacer en el nivel siguiente del problema.

Un ejemplo representativo es el sistema CRYSLIS [Feigenbaum 1981], cuya función es la interpretación automática de un mapa de densidad electrónica de proteínas, en donde para la hipótesis y pruebas de átomos y super-átomos utiliza meta-reglas con niveles de confianza asociados.

7. Tratamiento con el tiempo.

Poco se ha hecho en el área de sistemas expertos para tratar con el tiempo explícitamente. Los siguientes dos puntos son aproximaciones para tratar con el tiempo en términos de intervalo.

a) *Cálculo Situacional*. - El cálculo situacional fue una proposición en 1969 por McCarthy y Hayes para representar secuencias de acciones y sus efectos. Esta técnica usa el concepto de "situaciones" que cambian cuando acciones suficientes tienen que tomar lugar, o cuando nuevos datos indican un corrimiento situacional que es el apropiado. Las situaciones determinan el contexto para las acciones. Para describir una situación estereotipada nosotros podemos hacer uso de estructuras de datos para describir los cambios o la permanencia igual cuando las acciones son tomadas.

b) *Planificación con restricciones de tiempo*. - El sistema NOAH [Sacerdoti 1977] fue uno de los precursores de tipo de trazo en paralelo que trata con submetas interactuantes. El método de mínimo compromiso y encadenamiento hacia atrás inicialmente producen un orden parcial de operadores para cada plan. Cuando la interferencia entre planes con submetas sucede, el proyectista ajusta el orden de los operadores para resolver las interferencias y poder producir un plan paralelo final con un orden en el tiempo de los operadores.

El sistema DEVISER [Feigenbaum 1981] es una derivación reciente del sistema NOAH que extiende su técnica de planificación en paralelo para tratar metas con restricción y duración de tiempo.

1.4.2. ELECCIÓN DEL CONOCIMIENTO

Es posible crear una estructura de control a través de lenguajes de tipo procedural (basic o pascal), si bien se sabe que en estos lenguajes una instrucción se ejecuta hasta que se ejecuta la anterior, es posible cambiar la ejecución por medio de condiciones e identificadores (etiquetas), en estos casos el programa constituye la estructura de control, y es dependiente de los algoritmos del programa.

En lenguajes de tipo funcional las diferentes partes del programa se ejecutan en el momento que son necesarias, en este caso el programador no debe preocuparse por etiquetar las partes en que dividió el conocimiento, pues en el momento de la ejecución el propio programa recurrirá a la parte del conocimiento que sea necesaria, tantas veces como se requiera.

1.4.3. METACONOCIMIENTO.

El metaconocimiento es la parte del SE que permite cambiar de estrategia para solucionar un problema, en otras palabras el metaconocimiento define, el o los lugares de la Base de Conocimientos en la cual el Motor de Inferencia debe buscar, elegir y aplicar el conocimiento para responder un cuestionario concreto.

El Metaconocimiento puede ser de cuatro tipos:

- 1) *Ciego y fijo*. Este tipo de metaconocimiento se encuentra inherente al MI y el usuario no tiene acceso al mismo.

- 2) *Seleccionable antes de la ejecución del proceso.* El usuario elige entre una serie de alternativas las más aproximadas a las características del problema a solucionar.
- 3) *Seleccionable durante la ejecución del proceso.* El sistema pregunta al usuario las características secundarias del problema a medida que va obteniendo resultados parciales y de esta manera redireccionar la búsqueda si es necesario.
- 4) *Externo.* Cuando el usuario permanece en constante comunicación con el SE y realmente es el quién se encarga de guiarlo.

1.4.4. LÓGICA.

Para lograr automatizar la toma de decisiones respecto al camino que debe seguir el SE, se utiliza de manera frecuente los siguientes tipos de lógica:

Según el tipo de variables:

- Lógica Bivaluada o Booleana, la que sólo admite dos tipos de valores: verdadero o falso.
- Lógica trivalente, que es aquella en la que se admiten tres tipos de valores: falso, verdadero y otro intermedio.
- Lógica multivalente, donde las variables pueden tomar muchos valores, pero de forma discreta.
- Lógica difusa o Borrosa, es la generalización de la lógica multivalente, en este caso las variables pueden tomar valores del tipo continuo entre dos valores límite.

Según el tipo de conocimiento empleado.

- Lógica monótona. En la que los nuevos hechos generados no pueden entrar en contradicción con los que ya existen.
- Lógica no monótona, en la que los hechos se admiten en la Base de Hechos aún siendo contradictorios, este tipo de lógica es muy importante si se recuerda que un SE no trabaja con conocimientos finales e infalibles.

Según su temporalidad.

- Lógica temporal. En la que se considera la influencia del tiempo.
- Lógica temporal donde el tiempo puede determinar el estado de un hecho.

Según el tipo de valores.

- Lógica de orden 0. La que admite proposiciones, es decir representaciones de condiciones del tipo Objeto=Valor

Ejemplo:

SI Temperatura = Alta ENTONCES Sensación = Calor

→ Lógica de orden 0+. En la que se pueden tener representaciones del tipo Objeto-Atributo-Valor.

Ejemplo:

SI Temperatura >35 grados ENTONCES Sensación = Calor

donde:

Objeto = Temperatura.

Atributo = Calor.

Valor = 35

→ Lógica de orden 1 o lógica de predicados. En la que se generaliza la lógica de orden 0+.

Ejemplo:

SI Temperatura (grados) Y Grados >35 ENTONCES Sensación (Calor)

1.4.5. EVALUACIÓN DEL CONOCIMIENTO.

Cuando en Motor de Inferencias ha logrado determinar la parte de la Base del Conocimiento aplicable para solucionar un problema particular, pasa a verificar que éste sea correcto.

Los tipos de evaluación del conocimiento son :

a) Determinísticos cuando para su aplicación necesariamente deben de cumplirse ciertas condiciones.

SI A Y B ENTONCES C

De manera particular:

SI patas (4) Y sonido (ladra) ENTONCES animal (perro)

b) Probabilísticos cuando los parámetros de evaluación son hipótesis probables, es decir, dependen de una probabilidad de ocurrencia de los hechos que lo fundamentan, en este casos es necesario conocer de antemano tales probabilidades.

SI A Y B ENTONCES C(0,4) Y D(0,6)

De manera particular:

SI personal (edad laboral) ENTONCES situación laboral (paro(0,2)) Y situación laboral (activo(0,2))

- c) Aproximados cuando el grado de veracidad de los resultados esta en función de la veracidad de los hechos y datos empleados, en este caso para conocer la veracidad no se puede aplicar la teoría clásica de probabilidad y es necesario desarrollar nuevas maneras de evaluación aproximada.

Ejemplo:

SI A(a) Y B(b) ENTONCES sugiere C(c) Y excluye D(d)

De manera particular:

SI Nublado (n) Y Temperatura (t) ENTONCES nieve (a)

- d) Análogos cuando es posible suponer que las propiedades de un hecho las puede poseer otro por similitud.

Ejemplo:

SI A SIMILAR B ENTONCES TIENE PROPIEDADES DE B.

- e) Hereditarias cuando un hecho adquiere o toma las propiedades del hecho que lo produce.

Ejemplo:

SI A HIJO DE B ENTONCES A TIENE LAS PROPIEDADES DE B

1.5. TÉCNICAS DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

Para construir la Base del Conocimiento y ésta tenga funcionalidad al incorpore del SE, se utilizan diversas técnicas, pero generalmente se recurre a las siguientes:

1.5.1 REGLAS DE PRODUCCIÓN.

Es la técnica más usada, ya que es formulación más inmediata del principio de casualidad (causa-efecto) y dada su gran sencillez de comprensión.

Una regla es una conjunción de una acción (efecto) que para su ejecución se debe cumplir una condición (causa).

La definición anterior se generaliza de la siguiente forma : Una regla es un conjunto de acciones (efectos) que necesariamente para su ejecución se debe cumplir un conjunto de condiciones (causas).

En resumen, un fenómeno puede ser representado por un conjunto de reglas de producción, lo que se logra mediante la unión de un conjunto de hechos ciertos y un conjunto de reglas de producción, que relaciona y generaliza los hechos.

La formulación general es:

SI <condiciones> ENTONCES < conclusiones o acciones >

donde:

- Acciones. Es la transformación de un hecho.
- Conclusiones es la creación de un nuevo hecho válido o la incorporación de una nueva característica al hecho.

Cuando se utilizan las reglas en la construcción del metaconocimiento se les denomina metaregla. Las metareglas facilitan la resolución de problemas y disminuyen tiempos de procesamiento, ya que si la Base de Conocimientos se desarrolla en forma modular, las metareglas sirven para dirigir la búsqueda a módulos donde se encuentra almacenada la información precisa.

Generalmente se utilizan dos tipos de Metareglas :

- Las de tipo *ciego*. Que contienen la información sobre sintaxis (estructura) de las reglas:

Ejemplos de Metareglas de tipo ciego:

Elegir la regla más corta.

Elegir la primera regla.

Elegir la regla más probable.

- Las de tipo *no ciego* o *inteligentes*. Que contienen la información sobre la semántica (contenido) de las reglas:

Un ejemplo de metaregla no ciega es:

Un árbol joven no es alto, por lo que no es posible aplicar la regla X.

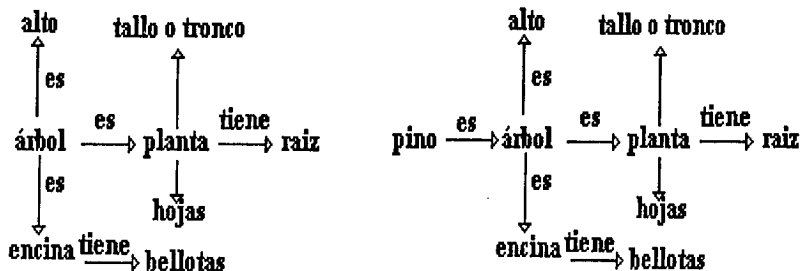
Las principales desventajas de las reglas de producción son su rápida representación del conocimiento y metaconocimiento, la independencia que existe entre ella mismas permite la supresión o inclusión de reglas sin afectar relativamente a las demás.

Las desventajas más notorias del usos de esta técnica son: incurrir en el uso de metareglas (lo que influye en la velocidad del procesado) y por último la posibilidad de incluir reglas repetidas o reglas contradictorias sin que el programador pueda percatarse fácilmente.

1.5.2. REDES SEMÁNTICAS.

Esta técnica también se le conoce como redes asociativas, sirve para representar el conocimiento mediante el uso de nodos (lugar donde se

representan las unidades de conocimiento) y ramas o arcos (que constituyen las relaciones entre unidades).



Redes Semánticas.

En la parte izquierda de la figura se presenta un ejemplo de una red semántica si a ésta se le incorpora un nuevo hecho (El pino es un árbol) se transforma en una red semántica contenida en la parte derecha de la misma figura.

De la primer red se pueden obtener los siguientes hechos:

- El árbol es una planta y tiene raíz.
- El árbol es una planta y tiene tronco.

Al incorporar el nuevo hecho se infiere que :

- El pino es un árbol; tiene raíz; tiene hojas ...

Las ventajas de las redes semánticas radican en su alto grado de definición de relaciones y su gran adaptabilidad a los procesos de uso iterativo, las desventajas más importantes son su poca flexibilidad y complejidad de comprensión que se genera al representar una base de conocimiento relativamente grande. Por lo general esta técnica se utiliza conjuntamente con las reglas de producción.

1.6. DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO.

Las personas que participan en el desarrollo de un Sistema Experto desempeñan tres papeles distintos:

- El Experto : que pone sus conocimientos especializados a disposición del Sistema Experto:
- El Ingeniero del Conocimiento: que plantea las preguntas al experto, estructura sus conocimientos y los implanta en la base de conocimientos,
- El Usuario: que aporta datos y sus ideas, determinando especialmente el escenario en el que debe aplicarse el Sistema Experto.

En el desarrollo del Sistema Experto, el Ingeniero del Conocimiento y el Experto trabajan muy unidos. Para el éxito del Sistema Experto es primordial tener igualmente un permanente contacto con el usuario posterior (o un representante del grupo de usuarios), teniendo en cuenta sus ideas y deseos. Pueden existir casos en los que el experto sea también el usuario, con la atención de ahorrarse trabajos repetitivos.

Se pueden distinguir las siguientes fases de desarrollo de un Sistema Experto:

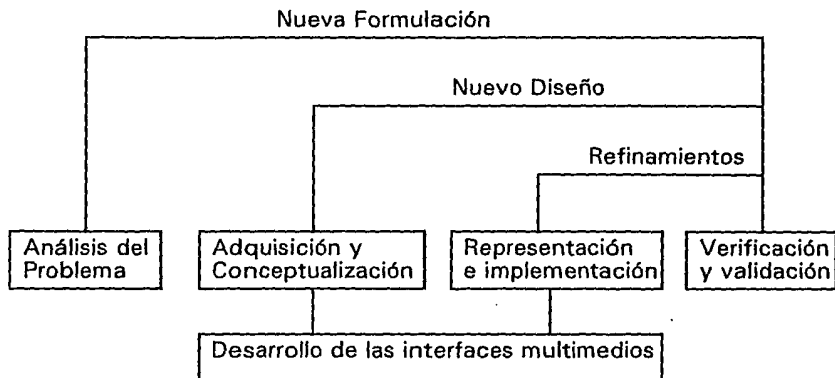
1. Determinar y delimitar claramente los problemas que deben ser resueltos por el Sistema Experto.
2. Adquirir el conocimiento del experto.
3. Estructurar el conocimiento.
4. Implantar el conocimiento en la base de conocimientos.
5. Realizar el mecanismo de inferencia
6. Validar el Sistema Experto aplicándolo a problemas cuya solución es conocida,
7. Depurar la base de conocimientos,
8. Confeccionar el interfase de usuario y el componente explicativo.

El Ingeniero del conocimiento es el responsable de una implantación correcta, pero no de la exactitud del conocimiento. La responsabilidad de esta exactitud recae en el Experto.

Un método efectivo en el desarrollo de sistemas expertos es la implantación de un prototipo de Sistema Experto que permita llevar a cabo las funciones más importantes de éste, aunque con un esfuerzo de desarrollo considerablemente inferior al de una implantación convencional. Una vez conseguido este prototipo resulta mucho rápido y sencillo el completarlo con funciones o relaciones adicionales, así como dotarlo de un interfase de usuario y un componente explicativo adecuados.

1.7. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

El desarrollo de un sistema experto requiere una serie de fases tal como se muestra en la figura, y se enmarca el lo que se llama Técnicas de Procesos de Desarrollo de Software.



1.7.1. Análisis y formulación del problema:

En esta etapa se evalúa la conveniencia de que un problema determinado sea abordado a través de un sistema experto. Los factores que evaluados son: el problema, los resultados que se esperan alcanzar y los participantes fundamentales que participan en el desarrollo, como son el experto y el diseñador. De acuerdo con los requerimientos del usuario, los recursos disponibles y las características del problema se fijan los objetivos y las tareas que deben ser realizadas por el sistema experto.

1.7.1.1. Criterio de selección de problemas: La decisión de desarrollar un sistema experto sólo puede tomarse después de un examen minucioso del contexto de la tarea por encarar. Cierta cantidad de factores hacen que sea razonable pensar en este tipo de desarrollo:

El problema planteado pone en juego no sólo informaciones cuantitativas sino también cualitativas,

Los conocimientos no sólo se vinculan con el sentido común sino que tienen carácter intuitivo,

Existen expertos reconocidos, motivados y disponibles, capaces de resolver el problema y de explicar su proceso de solución

El problema es de dificultad razonable y no posee solución algorítmica posible o deseable.

Es necesario, además, asegurarse de que la solución de tipo de Sistema Experto para el problema planteado esté realmente justificada. Una justificación sobre la base de criterios puramente económicos no es suficiente, ya que por lo general, el rédito de la inversión de un Sistema Experto suele ser difícil de calcular.

Por el contrario, acudir a los Sistemas Expertos se justifica si:

- La habilidad en el tema es rara o insegura, por ejemplo cuando un experto está pronto a jubilarse.
- La habilidad se concentra en un punto, pero se la utiliza de manera dispersa.
- Las decisiones deben tomarse en condiciones "estresantes".

1.7.1.2. Participantes: En el estado actual de la Inteligencia Artificial, el desarrollo de un sistema experto hace que intervengan por lo menos dos personas (o dos grupos de personas):

-Un experto en el dominio considerado,

-Un especialista de Inteligencia Artificial, al que se le conoce como especialista en conocimiento o ingeniero de conocimiento, que tenga, por otra parte, una excelente cultura informática.

Otro participante de suma importancia es el usuario, el cual a pesar de que no participe activamente en el desarrollo del Sistema Experto, es necesario sea tomado en cuenta al evaluar las posibilidades de que el problema sea desarrollado a través de un Sistema Experto, y cuando la decisión sea afirmativa, es fundamental tener en cuenta al usuario final del sistema experto en lo que concierne al diseño de las interfases respectivas.

1.7.2. Adquisición y conceptualización

El objetivo consiste en identificar todos los elementos cognositivos que intervienen en la solución del problema: conceptos, procedimientos, reglas de inferencia, heurísticos, casos especiales, métodos de razonamiento, restricciones, etc.

Este conocimiento es adquirido de dos tipos de fuentes: pública y privada. Las fuentes públicas lo constituyen los libros, revistas manuales técnicos, etc., mientras que las fuentes privadas es el conocimiento experto que no ha sido publicado ni divulgado y que es dominio propio de expertos humanos.

1.7.2.1. Adquisición del conocimiento privado

El experto y el ingeniero de conocimiento van a trabajar en estrecha colaboración para poner a punto la base de conocimiento que reúna para el tema en cuestión, los conceptos, las habilidades y los métodos heurísticos de razonamiento, tal como se muestra en la figura.



Proceso de transferencia de la habilidad del Experto

Se trata de una etapa fundamental, muy delicada y esencialmente artesanal. Se puede confiar en que las herramientas de aprendizaje simbólico ayudarán en el futuro en la construcción de bases de conocimiento

1.7.3. Representación e implementación

Un Sistema Experto es en general un programa complejo y multiforme, que presenta diferentes funcionalidades:

La resolución de un problema planteado, asegurada por uno o varios motores de inferencias que manipulan una o varias bases de conocimiento.

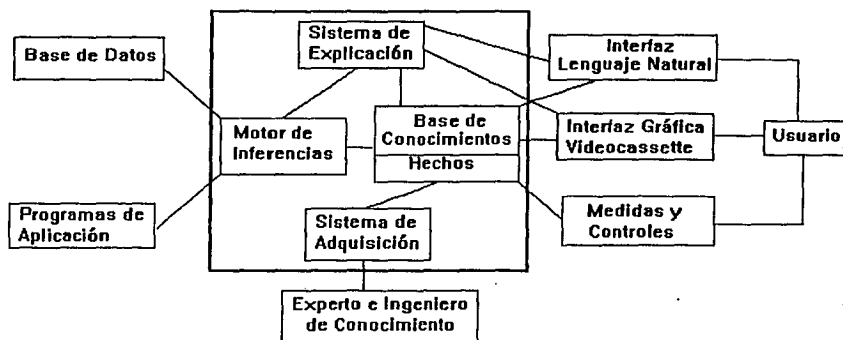
- La adquisición, la modificación y la actualización del conocimiento, funciones que utiliza el ingeniero de conocimiento para la codificación de la habilidad humana en la formalización adecuada en las fases de ajuste inicial y de mantenimiento ulterior.

- La explicación del camino que utiliza el Sistema Experto para resolver el problema planteado. Esto es importante en el momento de la puesta a punto del sistema, o durante su utilización, en el caso de un Sistema Experto destinado a la capacitación.

- La conexión con sistemas exteriores: programas encargados de efectuar ciertas tareas por pedido del Sistema Experto, bases de datos que proporcionan algunos hechos necesarios para el razonamiento, etc.

- La interfaz con el usuario final y, si ha lugar, con el proceso físico controlado por el Sistema Experto. Esta funcionalidad es esencial para la buena explotación del sistema y reviste formas muy diferentes: conexión con receptores que obtienen datos sobre los parámetros de un proceso (presión, temperatura, niveles, etc.), visualización gráfica, utilización del lenguaje natural, etc.

En la figura que sigue se proporciona una visión en conjunto de las funcionalidades de un Sistema Experto.



Funcionalidades de un Sistema Experto

Por lo tanto en esta etapa, y de acuerdo a las funcionalidades que debe cumplir un sistema experto determinado, se cumplen las siguientes actividades:

- Elección del Shell para la representación del conocimiento.
- Elección de la arquitectura que permita coordinar y manejar los distintos elementos que intervienen en la solución del problema.
- Creación de la base o bases de conocimiento.
- Diseño de la interfaz del sistema experto con el usuario y con el resto del entorno lógico (bases de datos, programas externos, sensores, etc.)

1.7.4. Verificación y validación

Los errores del prototipo de Sistema Experto se detectan de distintas maneras: conclusiones falsas, respuestas inconexas a preguntas, deducción de hechos irrelevantes, o no encontrar la solución a los problemas previstos. El proceso de verificación y validación permitirá entre otras cosas:

- Detectar las inconsistencias derivadas de la definición de la base de conocimientos.
- Localizar objetos, relaciones o propiedades que faltan en la base de conocimientos.
- Obtener trazas de los procesos de inferencia

- Interrogar al sistema en forma selectiva acerca de la obtención de determinados resultados, etc.

- Funciones para evaluar la velocidad de cálculo y para mejorar la implementación de los diferentes objetos sin variar su definición.

1.8. CICLO DE VIDA DE UN SISTEMA EXPERTO

Los Sistemas Expertos son programas con características muy particulares y cuyo ciclo difiere del de los programas clásicos.

Muy frecuentemente, el ciclo de vida de un proyecto de Sistema Experto se descompone en cuatro fases, en cada cual la estructura del Sistema Experto varía en magnitud y en alcance;

- Puesta a punto de una maqueta o "demostrador", que sólo tiene en cuenta un subconjunto del problema estudiado. Este sistema permite demostrar que el problema es resoluble mediante las técnicas de los Sistemas Expertos, y evaluar los recursos necesarios para el conjunto del proyecto.
- Desarrollo de un prototipo que incluye una base de conocimiento que abarque todos los aspectos del problema, pero no forzosamente integrado en el medio real de explotación.
- Integración del producto final en su medio. En efecto, un Sistema Experto va a integrarse por lo general en un sistema existente: sistema de información de una empresa, cadena de fabricación, etc. Esta integración plantea problemas informáticos y ergonómicos complejos: interfaces con otros programas o bases de datos, aspectos de tiempo real, interacción con los futuros usuarios del Sistema Experto, etc.
- Explotación del sistema. Como el conocimiento suele ser de naturaleza evolutiva, el mantenimiento y la actualización de un Sistema Experto son operaciones importantes, aseguradas por programas específicos.

CAPITULO 2

AIRE COMPRIMIDO

2.1 AIRE COMPRIMIDO.

Antes de iniciar con la introducción acerca de los compresores, Probablemente el usuario se pregunte ¿ que es el aire comprimido ?, ¿ para que sirve (sus principales aplicaciones) ? y ¿ que métodos de obtención de este existen ?.

Primeramente, podemos decir que el aire es un gas incoloro, insípido e inodoro. Es una mezcla de gases. La masa total del aire en la atmósfera equivale a algo menos que la millonésima parte de la masa del planeta.

La composición del aire permanece relativamente constante al menos hasta unos 25km de altura. Los gases que conforman al aire son principalmente el nitrógeno (78%), oxígeno (21%), argón (.93%), dióxido de carbono (.03%), neón (.0018%), helio (.00052%), metano (.00015%), kriptón (.0001%), monóxido de carbono (.00001%), óxido nítrico (.00005%), hidrógeno (.00005%), ozono (.00004%), xenón (.000008%), dióxido de nitrógeno (.0000001%), iodo (2E-11%) y radón (6E-18%).

Siendo el aire una mezcla y no una combinación química, sus componentes se pueden separar normalmente, esta separación se realiza enfriándolo hasta los -196°C. A esta temperatura varios de sus componentes se separan por destilación fraccionada.

Los valores de las constantes físicas más importantes del aire son:

Peso molecular	28.96 gr/mol
Densidad a 15°C y 1bar	1.208 kg/m ³
Temperatura ebullición a 1bar	78.8 °K
Temperatura de congelación a 1bar	57-61 °K
Constante del gas	287 J/kg°K
Presión crítica	37.66 bar
Temperatura crítica	132.52 °K

Toda materia se compone de moléculas en movimiento constante, manteniéndose unidas mediante la fuerza de cohesión. En los sólidos, las moléculas están fuertemente unidas y ordenadas de tal manera que la fuerza de cohesión es muy fuerte. En un líquido, las moléculas no presentan estructura de red, siendo por ello su fuerza de cohesión más débil; las moléculas tienen más movilidad y el líquido toma ala forma del recipiente que lo contiene.

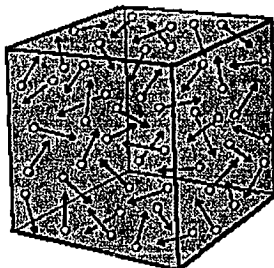


fig. 2.1. Partículas en Movimiento

En un gas, las moléculas están separadas y se mueven libremente, por que su fuerza cohesiva es mucho menor. Por lo tanto, un gas puede expandirse y mezclarse con otros gases que estén presentes.

El volumen de un gas es en su mayoría espacio vacío en el cual cada molécula se mueve en línea recta hasta que choca contra las paredes del recipiente o con otra molécula. La velocidad y dirección del movimiento cambia a cada choque y las trayectorias moleculares son zigzagueantes e irregulares.

Las moléculas inciden sobre las paredes del recipiente de tal forma que, en el caso de aire a baja presión y temperatura, cada centímetro cuadrado de pared recibe $3E23$ impactos por segundo.

La presión del aire contra las paredes es el efecto integrado de todos los impactos. El aire contiene $27E18$ moléculas por centímetro cúbico, con una velocidad media de 500 metros por segundo.

Si la presión aumenta mediante una ligera disminución del volumen del recipiente, manteniéndose constante la temperatura mediante disipación del calor producido, el numero de moléculas por unidad de volumen aumenta y también aumenta el número de impactos por segundo. Si reducimos el volumen a la mitad o la cuarta parte, la cantidad de impactos se doblará o cuadruplicará respectivamente, lo cual marcará un aumento igual en la presión.

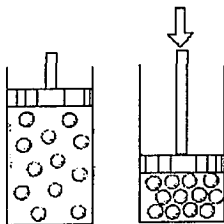


fig 2.2.

Por estar en continuo movimiento, las moléculas contienen energía cinética, la cual aumenta con la temperatura. En otras palabras, el calor es la energía cinética de las moléculas. Esto explica por qué un gas enrarecido, con pocas moléculas por unidad de volumen, puede, a elevada temperatura, causar la misma presión sobre un recipiente que un gas más denso a temperatura inferior. Es decir, la presión puede producirse por la acción de muchos impactos débiles o pocos impactos fuertes.

De lo anterior se deduce que si la presión se quiere mantener constante mientras aumenta la temperatura, se debe de aumentar el volumen del gas.

En conclusión se puede decir que el aire comprimido, es el aire cuya presión es mayor a la ambiental, es decir, es el aire que se encuentra en un recipiente cerrado y que por algunas causas de variación de temperatura o volumen su presión es aumentada. Por otra parte también se puede concluir que las condiciones de un gas se definen mediante tres factores que son:

Presión absoluta	P
Volumen específico	V
Temperatura absoluta	T

La teoría del aire comprimido esta basado en las leyes de los gases perfectos. Un gas perfecto o ideal es aquel cuyo comportamiento sigue un conjunto de leyes, que se presentan a continuación. En la práctica no existen tales gases perfectos, pero estas leyes son usadas y corregidas mediante factores de compresibilidad basados en datos experimentales.

2.1.1. LEY DE BOYLE

A temperatura constante, el volumen de un gas varía en relación inversa a la presión

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad \text{ó} \quad P_1V_1 = P_2V_2 = \text{cte}$$

2.1.2. LEY DE CHARLES

El volumen de un gas, a presión constante, está en relación directa con la temperatura absoluta

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \text{ó} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{cte}$$

2.1.3. LEY DE AMONTON

La presión de una gas, a volumen constante, varía en relación directa con la temperatura absoluta

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \text{ó} \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{cte}$$

2.1.4. LEY DE DALTON

La presión de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de los gases constituyentes. La presión parcial es la que se ejercería cada gas si estuviese él solo ocupando el volumen de la mezcla a la temperatura de la mezcla

$$P = P_a + P_b + P_c + \dots$$

2.1.5. LEY DE AMAGAT

El volumen de una mezcla de gases ideales es igual a la suma de los volúmenes parciales que los gases constituyentes ocuparían si cada uno existiese solo a la presión total de la mezcla y a la temperatura de la mezcla

$$V = V_a + V_b + V_c + \dots$$

2.1.6. LEY DE AVOGRADO

Volúmenes iguales de gases, bajo las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas.

2.1.7. LEY GENERAL DE LOS GASES

Por combinación de las leyes de Boyle y Charles es posible desarrollar la fórmula para un peso dado de gas:

$$PV = MRT$$

donde M es el peso y R una constante para cada gas.

Teniendo en cuenta que el volumen específico es $v = V/M$, la ecuación general queda como:

$$Pv = RT$$

El valor de la constante depende sólo del gas y del sistema de unidades elegido. En el caso del sistema métrico, con las siguientes unidades:

$$P = \text{kg/m}^2$$

$$V = \text{m}^3$$

$$M = \text{kg}$$

$$T = \text{°K} (=273 + \text{°C})$$

la constante tiene el valor

$$R = 848/PM \text{ (kg x m/kg x °K)}$$

donde PM es el peso molecular del gas, que para el aire es de 29

En la realidad los gases sufren una desviación respecto a la ley general de los gases y en algunos casos bastante considerable. La desviación aumenta con la densidad del gas y con su proximidad al estado líquido. A veces, es necesario que esas desviaciones se consideren en los cálculos de compresores.

La compresibilidad se deriva, experimentalmente, de los datos sobre el comportamiento real del gas para cambios en $p - V - T$.

El factor de compresibilidad (Z), es un multiplicador en la fórmula básica. La ley general queda entonces modificada así:

$$pv = ZRT \quad \text{ó} \quad Z = pv / (RT)$$

se deben de utilizar gráficos individuales de compresibilidad que den valores de Z para cada gas o mezcla de gases, o en su defecto utilizar gráficos generalizados.

2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido no es en sí mismo una forma de energía, pero sí es un medio para transferirla o convertirla. Otros medios son la electricidad y la hidráulica (la presión hidráulica es la presión transmitida por un líquido incompresible, por ejemplo: agua, aceite, etc., transportado por una bomba, desde cualquier depósito al lugar de utilización). Si se compara el aire comprimido (como el conjunto compresor, red de aire y herramienta neumática) con la electricidad (generador, cables y motor eléctrico), se encontrará que la electricidad es más eficiente, es decir, se utiliza mejor su energía. Entonces se preguntará uno porqué el aire comprimido es tan competitivo y popular.

La respuesta es que se puede sacrificar algo de energía al objeto de ganar, notablemente, seguridad y velocidad de trabajo, allí donde tal energía se utiliza. Con los equipos de aire comprimido se puede hacer el trabajo más seguro, más fácil y más barato. Más fácil, debido a que la herramienta de aire comprimido es más ligera, más compacta y más ergonómica (adaptada al ser humano), que la máquina eléctrica. Se puede hacer el trabajo más barato, porque al establecerse la relación: alta potencia/peso de la herramienta neumática.

El aire comprimido es mucho más seguro que la electricidad. Esto lo observamos de manera muy particular en aquellos trabajos en los que las herramientas se sobrecargan fácilmente. Una máquina de aire comprimido, sobrecargada, se para sin llegar a averiarse; mientras que una máquina eléctrica sobrecargada, también se para pero, antes de pararse a transcurrido un tiempo en el que estuvo trabajando por encima de sus posibilidades, lo que origina que el motor se estropee debido al calor generado, averiándose también, los elementos del área circundante.

También desde el punto de vista de la velocidad, el aire comprimido es superior. Este acciona máquinas, generalmente, más pequeñas y ligeras que las correspondientes a las máquinas eléctricas, son por ejemplo más fáciles y convenientes para el operario. Consecuentemente, ahorran tiempo y son más baratas en su utilización. Cuando el aire comprimido se utiliza para accionar máquinas, cuyo cometido es golpear con relativa dureza (perforadoras, etc.), resultaría materialmente imposible diseñar máquinas eléctricas, que desarrollaran el mismo trabajo, con peso y volumen razonables.

2.3. APLICACIONES DEL AIRE COMPRIMIDO

Si nos preguntamos, dónde se utiliza el aire comprimido, encontraríamos tres áreas donde el mencionado fluido es utilizado extensamente.

Construcción :

- edificación.
- ingeniería civil.

minería :

- minas.
- canteras.

industria :

- fabricación.
- procesos.

En el área de la construcción, el aire comprimido es muy utilizado para trabajos de fundición (cimentaciones de edificios) y para los principales servicios. También se utiliza en construcciones subterráneas como silos subterráneos practicados en la roca, etc. Con frecuencia se ven equipos de aire comprimido trabajando en autopistas, calles y otros trabajos de infraestructura. Consecuentemente existen máquinas para perforar, romper pavimentos, compactar, clavar estacas, etc. También se utiliza para accionar polipastos, vibradores, cabrestantes, bombas, etc.

El aire comprimido en la minería se utiliza en aplicaciones tales como : perforación y carga.

El aire comprimido en la industria. Los talleres mecánicos tienen aire comprimido para accionar remachadores, martillos cinceladores, desincrustadores, pisonos, etc., máquinas manuales para rectificar, amolar, taladrar, pintar y equipos para chorrear, etc.

Las fundiciones utilizan el aire comprimido para las máquinas que manipulan los frascos y cajas, para compactar el arena de moldeo, así como para limpiar y rebarbar las piezas de fundición.

El aire comprimido, ha encontrado, por supuesto, también otros usos dentro de un gran número de áreas especiales. Podemos mencionar la industria de la piedra (canteras), de la química, procesos e industrias de la alimentación. En alguna de estas aplicaciones, por ejemplo en la industria de procesos, el aire comprimido se utiliza directamente como una parte del proceso en sí, realizando su propio trabajo sin necesidad de utilizar una máquina o herramienta; por ejemplo para el trasvase de materiales de polvo, o formando parte del proceso de fabricación, industrias cerveceras, etc. Al poder soplar una gran cantidad de aire comprimido a través de tubos perforados, y que estos puedan colocarse en el fondo del mar (en la entrada de un puerto, etc.). se logra por una parte que el agua circule, y al mismo tiempo se evita la formación de hielo durante el invierno. (El agua a mayor temperatura asciende hasta la superficie). La Barrera de Burbujas también se utiliza para otros propósitos, como para prevenir la penetración de agua salada, protección contra el petróleo, etc.

Dispositivos de elevación, alimentación y maniobra (en máquinas automáticas), prensas, motores de arranque, equipos de arranque control para grandes motores diesel, aspiradoras industriales, sirenas, aprietatuercas, claveteadoras, fresas de odontología, son otras variadas áreas de aplicación del aire comprimido.

2.4. CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO.

Es el conjunto de propiedades y componentes que puede tener dicho elemento con el fin de satisfacer una necesidad determinada de la mejor forma posible.

Calidad de aire: La calidad de aire comprimido se refiere a :

- Contenido de humedad osea la cantidad de partículas de agua que contiene el aire.
- Contenido de aceite es decir la cantidad de partículas de aceite que se encuentra contenida en el aire (cuando el aire se obtiene del medio ambiente y cuando el compresor tiene cámara de compresión lubricada).
- Contenido de partículas sólidas. En este caso se agrupan todos los elementos sólidos en suspensión que puede tener el aire.
- Contenido de microorganismos. En este caso se analiza y toma encuesta para aplicaciones química-farmacéuticas, alimentos, etc.

Las distintas aplicaciones tienen diferentes requerimientos en cuanto a la calidad de aire, por ejemplo:

- El aire para pintado por atomización debe ser seco, libre de aceite y limpio.
- El aire para instrumentos de control debe ser muy limpio.
- El aire para herramientas, cilindros, válvulas y bombas, tienen distintas variaciones en cuanto a la calidad.

2.4.1. Factores que determinan la calidad del aire Comprimido.

La calidad del aire comprimido puede especificarse con factores diferentes tales como: Presión, Partículas sólidas, Aceite, Temperatura, Condensado.

Presión: Es junto con el caudal, uno de los componentes de la potencia neumática. Se genera en el compresor y es regulable en él dentro de cierto rango.

Efectos que produce:

Una sobrepresión podría ocasionar rotura de los componentes del sistema neumático, causando fugas y por lo tanto, pérdidas de energía.

Por otra parte, una baja de presión.

Causas que originan una presión inadecuada.

Las fugas de aire comprimido o el exceso de consumo, se traducen en caídas de presión.

Partículas Sólidas. Como partículas sólidas se agrupan todos los elementos sólidos en suspensión que pueda tener el aire.

Origen:

Proviene principalmente de tres fuentes:

- Del aire atmosférico succionado.
- Del compresor propiamante.
- De la red neumática.

En el primer caso nos encontramos con una gran cantidad de contaminantes que varían en concentración y tipo de acuerdo a la zona, actividad, etc.

En los compresores con cámara de compresión lubricada, ocurre que el aceite tiende a descomponerse, formando entre otras cosas, partículas de carbón.

Las tuberías de la red, si son metálicas, tienden a oxidarse, produciendo partículas de gran tamaño y cantidad.

CONCENTRACIONES TÍPICAS DE POLVO ATMOSFÉRICO

Tipo de Concentración	Concentración en mg/m ³	Condiciones Típicas
Exenta de polvo	0	Ambientes Artificiales
Ligera	0-170	Camino permanentes. Trabajos en sala de máquinas.
Media	170-350	Minas de Arena. Camino no permanentes Campos de algodón.
Alta	350-700	Golpear polvo. Hornos de Coque. Arar el suelo seco. Pista de aterrizaje provisional.
Muy Alta	700-1400	Fabrica de cemento. Machaqueo de piedras. Campos de petróleo. Transporte de cubetas (exteriores).
Extrema	Más de 1400	Tempestades de polvo Convoyes de vehículos en el desierto.

Aceite: Proviene del aire atmosférico aspirado por el compresor y del compresor en sí cuando éste tiene cámara de compresión lubricada.

Del aire atmosférico, puede venir algo de aceite en forma de neblina o vapores pero su cantidad, en general, es insignificante.

La cantidad de aceite que sale del compresor, junto con el aire comprimido, depende mucho de la cantidad, tipo y temperatura del lubricante, así como del tipo y tamaño del compresor.

Efectos que produce:

En general, el aceite que a logrado pasar a la red de aire comprimido se encuentra completamente degradado. Su capacidad lubricada es nula y su grado de acidez y corrosión es alto.

Se encuentra formando una emulsión junto con el vapor de agua condensado, de color marrón blancuzco, comunmente llamada "condensado", con capacidad de introducirse en resquicios y luego expandirse al reaccionar con el metal.

Los vapores de aceite tienden a formar gases corrosivos al combinarse con el vapor de agua y de por sí son tóxicos en general; además de tener alta capacidad de impregnar substancias con olores diversos.

En forma de partículas sólidas (carbón), podría acumularse a la salida de la cámara de compresión, erosionando y atascando válvulas de escape o creando posibilidad de ignición.

Condensado: Es una mezcla emulsionada resultante del vapor de agua condensado y el aceite líquido provenientes del aire atmosférico y del compresor, respectivamente.

El primer componente forma el 99% de la mezcla y en el caso de compresores no lubricados, el 100%.

Origen:

El aire atmosférico, dependiendo de su humedad relativa, contiene cierta cantidad de vapor de agua.

Al comprimirse, aumenta su temperatura y disminuye su volumen, por lo que dicho vapor, al pasar a la red y comenzar a enfriarse, tenderá a condensarse.

Este fenómeno ocurrirá hasta que la temperatura del aire comprimido se iguale con la ambiental. En ese momento, el aire comprimido seguirá saturado pero no condensará más.

Influencia de la temperatura: Punto de Rocío.

El aire que nos rodea siempre contiene una cierta cantidad de humedad, en forma de vapor de agua. La cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener viene determinada por su volumen y temperatura. A volumen constante, sólo la temperatura influye sobre la capacidad de contener agua en forma de vapor.

Al comprimir un cierto volumen de aire el contenido de agua permanece constante, y sin embargo, la cantidad de vapor de agua que el aire puede contener a la misma temperatura, en este nuevo volumen, es menor (está en relación con la disminución de volumen). El vapor de agua que sobrepase la cantidad máxima que el aire puede contener, se condensará.

Supongamos que tenemos una mezcla de aire y vapor de agua (aire húmedo) en un cilindro con un pistón. Cuando el pistón desciende, el volumen disminuye y la presión aumenta. Cada constituyente de la mezcla se comporta como si él sólo ocupara el volumen del cilindro. Se le llama presión parcial a la presión de cada constituyente, y presión total de la mezcla, a la suma de las presiones parciales de cada constituyente. Cuando se alcance una cierta presión, comenzará a aparecer algunas gotas de líquido y la temperatura correspondiente a esta presión se llama punto de rocío.

Estando una presión dada, cuando esta alcanza su "punto de rocío" se dice que el aire está saturado, es decir que contiene la máxima cantidad de vapor de agua que es capaz de contener y toda ella está en estado de vapor.

Si la temperatura desciende por debajo del punto de rocío, la capacidad del aire para contener humedad disminuye, y por lo tanto, el agua sobrante se condensa. La cantidad de agua líquida formada será mayor cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura real existente y la temperatura de rocío correspondiente a cada presión dada.

La cantidad de humedad contenida en el aire se expresa de dos formas:

- a) Humedad absoluta: expresa la cantidad real de agua contenida por unidad de volumen de aire. Las unidades son normalmente gramos de agua por metro cúbico de aire, a la presión considerada (gr/m^3).
- b) Humedad relativa: expresa la humedad contenida como un porcentaje de saturación.

Dicho de otra forma, aire saturado significa que el aire contiene la cantidad máxima posible de agua en forma de vapor. Un exceso de agua se manifiesta en forma de rocío, neblina, niebla o lluvia.

Otra forma de definir el punto de rocío es la siguiente:

El punto de rocío es la temperatura a la cual un volumen dado de aire está saturado de vapor de agua. Si la temperatura desciende, o el volumen disminuye, se produce condensación.

El punto de rocío puede expresarse referido a la presión de trabajo o bien a la presión atmosférica.

El punto de rocío atmosférico es la temperatura a la cual el vapor de agua comienza a condensarse a la presión atmosférica.

El punto de rocío a presión, es la temperatura a la cual la humedad comienza a condensarse en un sistema de aire comprimido. Se diferencia del punto de rocío atmosférico, en que la humedad por metro cúbico de aire atmosférico queda atrapada en un volumen mucho menor al ser comprimido. Por lo tanto, más moléculas de agua se aprietan en un menor espacio, aumentando su concentración. El punto de rocío a presión, es la forma más práctica de especificar la temperatura a la que el vapor comenzará a condensarse en un sistema de aire comprimido.

CAPITULO 3
COMPRESORES Y EQUIPO ADICIONAL

3.1. COMPRESION DE AIRE.

¿Cómo se comprime el aire?. Si disminuimos el volumen de una cantidad de aire dada, la presión se incrementará. El aire comprimido se obtiene, forzando el aire a ocupar un volumen más pequeño.

Si la máquina trabaja muy lentamente, uno puede ingeniárselas para comprimir el aire, sin un notable incremento de su temperatura. En tal caso, no se requerirá excesivo trabajo para obtener el funcionamiento de la máquina. Este tipo de compresión, que pudiéramos llamar ideal y que raramente se obtiene en la práctica, recibe el nombre de *Compresión isotérmica*

Las máquinas modernas de alta velocidad, al comprimir el aire, invariablemente se produce en este, considerable incremento de la temperatura. El incremento de temperatura, en estos fenómenos de compresión, requiere más trabajo mecánico. En la práctica, al fenómeno mencionado, se le llama *compresión adiabática*. Si la compresión fuera estrictamente adiabática, el fenómeno tendría que llevarse a cabo con un completo aislamiento de calor.

3.2. MÉTODOS DE COMPRESIÓN

Se usan cuatro métodos para comprimir aire:

1. Se introducen cantidades consecutivas de aire en un recinto cerrado; se reduce el volumen, aumentando la presión y luego se expulsa el aire comprimido fuera del recinto.
2. Se introducen cantidades consecutivas de aire en un recinto cerrado, se lleva sin cambio de volumen a la abertura de descarga y entonces se expulsa el aire comprimido fuera del recinto.
3. Se comprime el aire mediante la acción mecánica debida a impulsores o rotores con aletas que giran rápidamente, impartiendo velocidad y presión al aire (la velocidad es posteriormente convertida en presión mediante difusores o paletas estacionarios).
4. Se introduce el aire en un chorro de alta velocidad del mismo aire o de otro cualquiera, y se convierte la alta velocidad de la mezcla en presión, mediante un difusor.

Los compresores que usan los métodos 1 y 2 son de funcionamiento intermitente y se conocen como compresores de desplazamiento.

Los que usan el método 3 se denominan compresores dinámicos.

Los que usan el método 4 se conocen como eyectores y normalmente operan con una presión de aspiración menor a la atmosférica.

3.3. TIPOS DE COMPRESORES.

Existe una gran diversidad de equipos para la compresión de aire y otros gases; los principales tipos de compresores, clasificados según su principio de funcionamiento, son mostrados en la figura 3.1

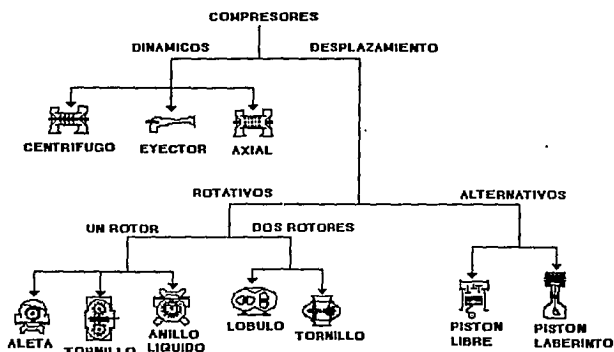


figura 3.1

3.3.1. COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

Son unidades donde el incremento de presión se logra introduciendo un volumen de gas en un espacio determinado, que posteriormente se reduce por medios mecánicos.

Los compresores de desplazamiento positivo a su vez se dividen en dos grupos: los reciprocantes y los rotativos.

3.3.1.1. COMPRESORES RECIPROCANTES O ALTERNATIVOS.

Son los más antiguos y conocidos entre los compresores de desplazamiento positivo.

En estos equipos el elemento principal de compresión es un pistón que se mueve alternativamente dentro de un cilindro, lográndose así la reducción del volumen del gas a comprimir.

Los compresores de pistón pueden ser de simple o doble efecto, según si una o ambas caras del pistón realicen compresión sobre el fluido.

Los de simple efecto comprimen el aire en la parte superior del cilindro y por lo regular son del tipo entrocado.

Los de doble efecto requieren un acople mediante crucetas, para procurar que el movimiento del vástago sea lineal, con lo que se puede lograr una reducción en el largo del pistón, creándose dos cámaras de compresión: una por arriba y otra por debajo del mismo.

Los compresores reciprocantes pueden ser además lubricados o no lubricados, estos últimos tienen anillos de politetrafluoretileno (PTFE) autolubricados. Los compresores no lubricados del tipo entroncado tienen carcasa seca, con rodamientos de engrase permanente, mientras que los de cruceta tienen la biela más larga de forma que la parte lubricada no entre en la cámara de compresión.

Los compresores reciprocantes normalmente tienen válvulas auto-accionadas las cuales abren y cierra según la diferencia de presión que exista a través de ellas. Los compresores alternativos son los equipos de compresión más usados; poseen un amplio rango de tamaño y tipos diferentes, su potencia varía desde fracciones de HP hasta unidades de más de 12000 HP, con rangos de presión desde menos de uno hasta más de 4000 bar.

Otra ventaja de estos equipos, es que son más eficientes para la mayoría de las aplicaciones, pudiendo ser instalados con equipos de control de capacidad para mantener su eficiencia a cargas parciales.

Debido al movimiento recíprocante de los pistones y a otras partes rotantes desbalanceadas, las fuerzas de inercia tienden a desbalancear la unidad; por ello es necesario emplear alguna base que estabilice la instalación.

La aplicación de este requerimiento depende del tipo y tamaño del compresor.

Dadas las características de funcionamiento de este tipo de compresores, el flujo de aire que ellos entregan no es continuo sino pulsante, lo que representa una desventaja. Sin embargo ello puede minimizarse utilizando un amortiguador de pulsaciones.

3.3.1.1.1. Compresores de Pistón Libre.

Se trata de un arreglo especial, en donde el compresor se encuentra integrado a un motor diesel de manera que no existe conexión mecánica alguna. En principio, se trata de un diseño sencillo, pero en la práctica, el diseño es sumamente complicado debido a la necesidad de sincronismo de los pistones y de un sistema de arranque.

El principio de operación de estos equipos es el siguiente:

Haciendo uso del aire comprimido se logra el movimiento hacia dentro de los pistones, comprimiéndose el aire contenido en la cámara de combustión. Cuando los pistones se encuentran cerca del punto muerto inferior, se inyecta el combustible, produciéndose la combustión por efecto de la temperatura.

Al incrementarse bruscamente la presión en la cámara de combustión, los pistones son forzados hacia afuera, obteniéndose la compresión del aire en las cámaras de compresión.



fig. 3.2

3.3.1.1.2. Compresor de pistón tipo laberinto.

Estos son unos tipos especiales de compresores alternativos, de desplazamiento positivo, exentos de aceite, y sin segmentos en el pistón. El sellado entre el pistón y la pared del cilindro, se logra mediante una serie de laberintos. Las superficies interiores de los cilindros están estriadas, y las de los pistones llevan unas roscas mecanizadas de afiladas crestas (véase figura 4 pag.96 atlas). Las empaquetaduras de las bielas son también del tipo laberinto. Las fugas interna son mayores y las R.P.M. menores en los compresores que emplean anillos en el pistón, por lo que sólo se recomienda este tipo de unidad debido a su capacidad de ofrecer aire absolutamente libre de aceite.

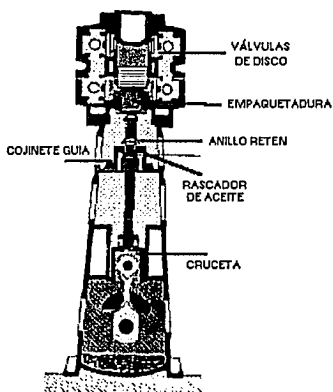


fig. 3.3. Compresor de laberinto doble efecto.

3.3.1.2.COMPRESORES ROTATIVOS

Los compresores rotativos son aquellos que utilizan rotores para la compresión del aire. Este tipo de compresores al igual que los reciprocantes su principio básico de compresión consiste de disminuir el volumen que ocupa dicho aire.

Este sistema es el mas adecuado cuando se requiere de una demanda de aire entre los 150 y 1000 l/s y una presión de trabajo entre los 4 y 10 bar.

Este tipo de compresores también pueden ser lubricados y exentos de aceite. Los compresores exentos de aceite no requieren de lubricación en las cámaras de compresión, ya que estos tienen un sistema de engranajes de alta presión, es decir, que entre los rotores o rotor y la las paredes de la cámara de compresión no existe contacto alguno, como es el caso de los lubricados.

En este tipo de compresores se observa que pueden tener un rotor o dos rotores para la compresión de aire.

3.3.1.2.1. Compresores de aletas

Son máquinas que tienen aletas dispuestas en ranuras axiales sobre un motor montado excéntricamente dentro de una carcasa cilíndrica.

El principio de funcionamiento de estos compresores es el siguiente:

Cuando el rotor gira las aletas se pegan contra la carcasa por acción de la fuerza centrífuga, sellándose así el espacio entre las dos aletas consecutivas.

El aire entra al compresor cuando el volumen entre dos aletas es máximo; luego a medida de que el rotor gira, el volumen decrece por efecto de la excentricidad. El aire se comprime a medida que es desplazado hasta la descarga.

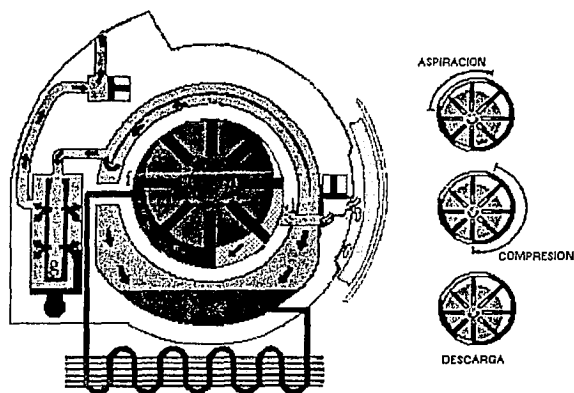


fig. 3.4. Funcionamiento Compresor Aletas

3.3.1.2.2. Compresores de Anillo Líquido

Estos tipos de compresores son también de desplazamiento positivo, exentos de aceite y con una relación de compresión fija.

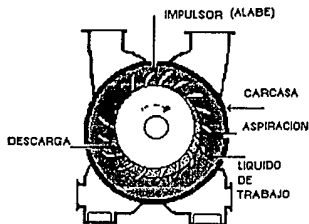


fig. 3.5 Compresor de Anillo Líquido

Este tipo de compresores están constituidos por un rotor con alabes fijos, montados excéntricamente dentro de una cámara circular, de manera similar a los compresores de aletas deslizantes.

El cilindro está parcialmente lleno de líquido que durante el funcionamiento y por la acción de la fuerza centrífuga, es proyectado contra las paredes del cilindro, formándose un anillo líquido que presenta respecto al rotor, la misma excentricidad que la carcasa. La compresión del aire se logra por la reducción del volumen entre dos alabes, actuando el líquido como sello.

La compresión de estos compresores es directa, debido al íntimo contacto entre el gas y el líquido, pudiéndose mantener la temperatura de descarga muy próxima a la de entrada del líquido. Sin embargo, el gas se encuentra saturado con el líquido del anillo, a la temperatura de descarga.

Estas máquinas se utilizan en aquellos procesos que requieren una escasa elevación de temperatura durante el ciclo de compresión, aproximándose por tanto al proceso de compresión isotérmica.

El líquido por lo general es agua, aunque se puede utilizar otro para la obtención de resultados específicos durante el proceso de compresión, como por ejemplo la absorción de un constituyente del gas por el líquido, o la protección del compresora ataque corrosivos de gases y vapores activos.

El hecho de necesitar mantener el anillo líquido en constante movimiento durante todo el tiempo de funcionamiento, aumenta machismo el consumo de energía de este tipo de compresor.

3.3.1.2.3. Compresores de tornillo.

Este tipo de compresores son de desplazamiento positivo, con una determinada relación de compresión.

Son máquinas donde los rotores helicoidales engranados entre sí y ubicados dentro de una carcasa; comprimen y desplazan el gas hacia la descarga.

Los lóbulos de los dos rotores no son iguales; los del macho o rotor principal son de forma tal que se ajustan en las cavidades de la hembra o rotor conducido.

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

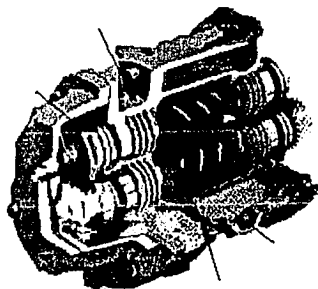


fig. 3.6.

El principio de funcionamiento de estos compresores puede entenderse más fácilmente con ayuda de la fig. 3.7. donde se muestra como inicialmente es aire llena es espacio entre los dos lóbulos, y a medida de que los rotores giran, el volumen entre los rotores disminuye obteniéndose progresivamente la compresión deseada.

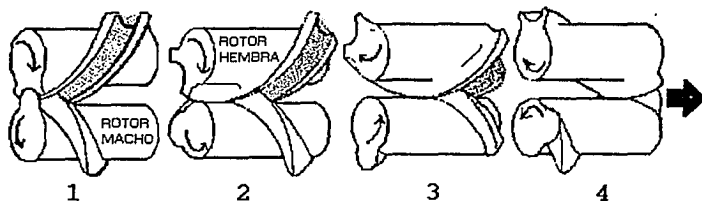


fig. 3.7. Principio de funcionamiento del Compresor de Tornillo

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

En consecuencia, combina una elevada capacidad con reducidas dimensiones. Los compresores de tornillo del tipo seco utilizan engranajes de

sincronización externos a los rotores macho y hembra. Al no haber contacto entre rotores ni entre estos y la carcaza, no se necesita ningún tipo de lubricación dentro de la cámara de compresión.

Para logra un rendimiento aceptable, en este tipo de compresores, cuando su capacidad es pequeña, es necesario que el eje gire a velocidades elevadas.

Sin embargo, inyectando aceite en las cámaras de compresión se pueden utilizar velocidades más reducidas. La inyección de dicho aceite cumple tres funciones.

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

La ubicación interna hace posible prescindir de los engranajes de sincronización o piñones de distribución.

El aceite inyectado se recupera y recircula después de la compresión. Debido a que la temperatura del aceite puede mantenerse en el nivel bajo, se puede recuperar en la práctica, todo el aceite. La recuperación del aceite se realiza en dos etapas:

- En primer lugar en un separador mecánico, y
- a continuación en un filtro montado en el interior del depósito de aire.

Por regla general la inyección se realiza utilizando la presión del aire de descarga (fig. 3.8). Se emplea una válvula de presión mínima para asegurar la presión de aceite de inyección aunque la de salida encienda.

fig. 3.8.

3.3.1.2.4. Compresores de Lóbulos.

Estos compresores son máquinas de desplazamiento sin válvulas de aspiración o descarga. Estos no producen compresión interna. La compresión tiene lugar en un tanque posterior debido a las entregas sucesivas de aire.

Esto restringe su uso a sopladores y máquinas de bajas relaciones de compresión. Usualmente operan como máquinas de una sola etapa, pero pueden obtenerse versiones de 2 y 3 etapas.

El principio de funcionamiento es el siguiente:

Dos rotores idénticos y usualmente simétricos giran en direcciones opuestas, dentro de una casaca cilíndrica impulsando continuamente volúmenes iguales de aire. La casaca del compresor no es lubricada y su enfriamiento es por aire.

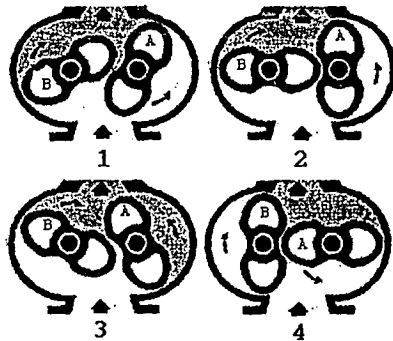


fig. 3.9. Principio de funcionamiento de un Compresor de Lóbulos

3.3.2. COMPRESORES DINÁMICOS

En cualquier compresor dinámico, la compresión depende de la transferencia de energía desde un conjunto de alabes rotatorios a un gas. Un rotor efectúa esta transferencia de energía cinética y la presión del gas. La energía cinética es convertida en energía de presión útil, mediante la disminución de velocidad del gas en un difusor estacionario o en otro conjunto de alabes.

Los compresores dinámicos incorporan elemento de rotación para producir la aceleración del gas o aire. La velocidad del gas, y merced a la acción de un difusor, se convierte en presión estática.

La energía total, en el flujo de aire en movimiento es siempre constante. Cuando dicho flujo atraviesa un orificio de mayor sección, la velocidad del mismo (energía cinética) se reduce transformándose en presión.

Así mismo, la presión estática es más elevada en el orificio de mayor sección. Según diseño, los compresores dinámicos pueden ser centrífugos (radiales), axiales y radiaxiales (mezcla de los diseños anteriores). En general, estos tipos de compresores son más adecuados, para grandes caudales y presiones relativamente bajas, aún cuando en máquinas de múltiples etapas, la presión puede aumentarse.

El término centrífugo se usa cuando el flujo de gas es radial y la transferencia de energía se debe principalmente a un cambio en las fuerzas centrífugas que actúan sobre el gas.

El término axial se usa cuando el flujo de gas es paralelo al eje compresor. La transferencia de energía se ocasiona por la acción de cierto número de filas de álabes es un rotor, estando cada fila seguida a su vez por otra hilera de álabes unidos a la carcasa.

3.3.2.1. Eyector

El eyector es un dispositivo mecánico que utiliza la energía cinética de un fluido para bombear otro. Entre las múltiples aplicaciones de los eyectores están:

- 1) Bombear de vacío para trabajos de aspiración, ventilación para eliminar aire contaminado, polvoriento o a altas temperaturas.
- 2) Transporte neumático de materiales polvorientos o granulares.

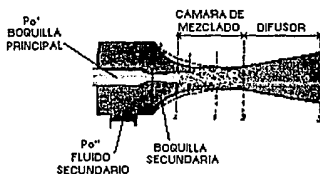
La gran ventaja de los eyectores es su confiabilidad por no tener partes móviles, pero su mayor desventaja es su baja eficiencia.

Básicamente un eyector consiste en; dos boquillas, una cámara de mezclado y un difusor (ver figura).

El fluido de alta presión es inyectado a través de la boquilla principal. La gradual reducción del área de la boquilla convierte la presión en energía cinética.

La presión al final de la boquilla estará por debajo de la presión del fluido secundario.

De esta manera, el fluido secundario es llevado a través de la boquilla de succión y los dos fluidos entrarán en la cámara de mezclado. Después de esta cámara, el flujo de los fluidos pasará por el difusor, el cual convertirá la energía cinética en presión nuevamente.



fir. 3.10. Eyector.

3.3.2.2. COMPRESORES CENTRÍFUGOS.

En un compresor centrífugo se produce la presión al aumentar la velocidad del gas que pasa por el impulsor y, luego al recuperarla en forma controlada para producir el flujo y presión deseados.

Compresores centrífugos radiales: En estos compresores el flujo del gas es esencialmente radial.

Estos componentes están constituidos por uno o más rodetes y un número de pasajes divergentes fijos a la carcasa, denominados difusores, en donde el fluido es desacelerado.

El principio de funcionamiento de estos compresores es el siguiente: El gas a ser comprimido entra por el centro de una rueda giratoria provista con alabes radiales (rodete o impulsor), los cuales lanzan el gas hacia la periferia mediante la fuerza centrífuga.

Antes de ser guiado el gas hacia adentro del siguiente impulsor, se le hace pasar por un difusor que transforma la energía cinética en presión.

La relación de compresión por etapa se determina en función de los cambios de velocidad y densidad experimentados por el fluido.

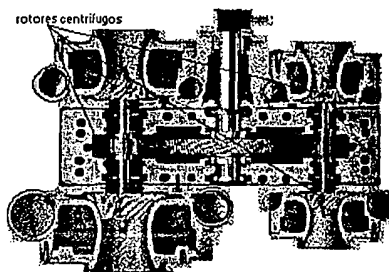


fig. 3.11.

En la figura presentada, se muestra el elemento principal de un compresor centrífugo, visto a través de un corte transversal. En dicha figura se puede apreciar los rotores centrífugos, los cuales, se encarga de acelerar el aire e impulsarlo hacia dentro, con lo cual se logra el aumento de presión. Este tipo de compresores se utilizan cuando la demanda de aire es no menos a los 1000 l/s y no mayor a 8 bar.

3.3.2.3. COMPRESORES AXIALES.

Estos compresores se caracterizan porque el flujo sigue la dirección de su eje.

El compresor está formado por filas alternadas de alabes móviles y fijos. Los alabes móviles se encuentran dispuestos radialmente en su rotor, mientras que los fijos son solidarios al estator.

Tanto los alabes fijos como los alabes móviles tienen forma aerodinámica. El conjunto de una fila de alabes móviles y otra de alabes fijos es denominada etapa.

El funcionamiento de este tipo de compresores es el siguiente: los alabes móviles imparten velocidad y presión al fluido al girar el rotor, luego en los alabes fijos la velocidad es convertida en presión por expansión, de manera similar ocurre en los compresores radiales.

El incremento de presión por etapa es relativamente pequeño por lo general; por ello, para obtener relaciones de presión altas, se requiere de un considerable número de etapas.

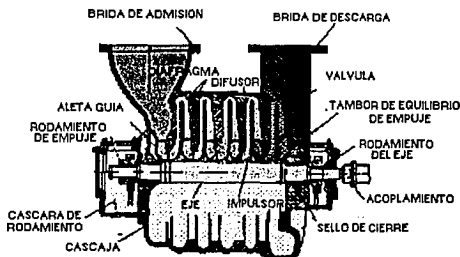


fig. 3.12.

Mientras que los compresores radiales suministran prácticamente presión constante, dentro de un amplio rango de caudales, los compresores axiales presentan una característica de caudal constante para presiones variables.

Los compresores axiales, debido a su pequeño diámetro, funcionan a mayores velocidades que los radiales para un mismo trabajo. Generalmente el incremento es de un 25%.

Con la excepción de los compresores utilizadas en los motores de aviación, la relación de compresión máxima para cada unidad queda limitada a 6.

Ello es debido a la dificultad de realizar la refrigeración entre etapas. Normalmente son utilizados para capacidades superiores a 65 m³/s y presiones efectivas de hasta 14 bar. Algunas aplicaciones típicas de los compresores axiales se muestran a continuación.

Manejo de aire

- Combustión para turbinas.
- Túneles de viento.
- Altos Hornos.
- Ventilación.
- Agitación de aguas residuales.

Manejo de otros gases.

- craqueo catalítico.
- Enfriamiento del gas para reactores atómicos.
- Petroquímica.
- Transporte de gas natural.

3.4. COMPONENTES DE UN COMPRESOR

Como componentes de un compresor consideramos a los filtros de aire (prefiltros de aire), los cuales, son de varios tipos:

- 1) FILTRO DE ENTRADA
- 2) FILTRO DE LABERINTO SECO
- 3) FILTRO DE LABERINTO EN BAÑO DE ACEITE
- 4) FILTRO DE PAPEL

3.4.1. FILTRO DE ENTRADA

Para asegurar un buen comportamiento del compresor, este deberá llevar siempre un filtro de aspiración eficaz. De otra forma, los abrasivos que hay en el aire llegarían a la unidad y podrían causar un desgaste excesivo en los cilindros, anillos de pistón, cojinetes, etc..

Un buen filtro de aire deberá cumplir lo siguientes requisitos:

- 1) gran eficiencia de separación.
- 2) buena capacidad de acumulación.
- 3) baja resistencia al flujo de aire.
- 4) construcción robusta.

Los tipos más comunes de filtros son los de laberinto y de papel.

3.4.2. FILTRO DE LABERINTO SECO

En un filtro de laberinto se fuerza el aire a cambiar de dirección rápidamente, acelerándolo y desacelerándolo, de manera que las partículas sólidas se precipiten por su propio peso hacia un depósito en el fondo del mismo.

Los intervalos de limpieza dependen de la contaminación del aire, aunque lo más normal es de semana en semana o cada 50 a 100 horas del funcionamiento del compresor.

Se recomienda por lo tanto, los filtros de laberinto, de forma muy especial en compresores de poca capacidad, que trabajen en lugares donde el aire ambiente está relativamente limpio, o también como prefiltro separador de partículas gruesas.

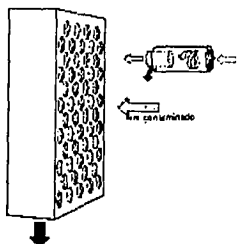


fig. 3.13. Filtro de laberinto tipo seco

3.4.3. FILTRO DE LABERINTO EN BAÑO DE ACEITE

El caudal de aire es conducido a un depósito de aceite por una pantalla deflectora y allí cambia de dirección.

La mayor parte de las partículas contaminadas son absorbidas por el aceite, pero como el flujo de aire arrastra parte del mismo, hay que dirigir el aire de un nuevo hacia un filtro tipo laberinto, donde se separa el aceite.

Este tipo de filtro tiene una gran capacidad de acumulación y es capaz de eliminar una cantidad de impurezas igual al peso del aceite.

De todas formas, hay que limpiar el filtro a intervalos regulables y hay que cambiar el aceite en cada período de limpieza.

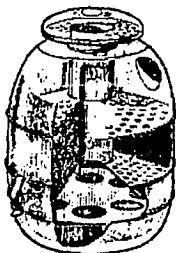


fig. 3.14.

3.4.4. FILTRO DE PAPEL

Estos filtros cilíndricos son de tipo no recuperable. El elemento consiste en un papel corrugado impregnado de aceite o seco, inserto en el espacio que hay entre dos cilindros concéntricos hechos de chapa perforada.

Las partes superior e inferior de la armadura están fabricadas de plástico o metal. El elemento filtrante de papel no debe estar expuesto a temperaturas superiores a 80 °C o vibraciones demasiado fuertes. Por lo tanto, en los compresores de pistón deben montarse con amortiguadores de vibraciones entre el compresor y el filtro. Los mejores resultados se obtienen cuando se monta a un silenciador tipo venturi que produce un efecto amortiguador casi total.

La efectividad del elemento filtrante de papel es grande, aproximadamente de un 99%. La caída de presión que provoca un elemento filtrante nuevo es del orden de 2.5 a 3.5 milibares. La resistencia aumenta con el uso.

La caída de presión de un silenciador venturi es aproximadamente 10 milibares. Los filtros de papel se emplean en todo tipo de compresores. Su vida de servicio es normalmente larga, lo suficiente para que el cambio del filtro se realice cuando está ya completamente obstruida.

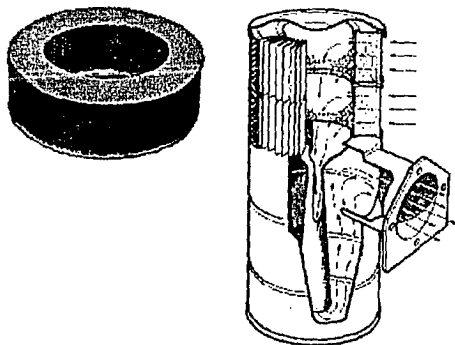


fig. 3.15.

3.5. SISTEMAS DE UN COMPRESOR

Los diferentes sistemas que componen ó integran a un compresor son:

- 1) SISTEMA DE LUBRICACIÓN
- 2) SISTEMA DE REGULACIÓN
- 3) SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
- 4) SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y PROTECCIÓN

3.5.1. SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Los sistemas de lubricación más comunes para compresores son:

- 1) lubricación por salpicadura.
- 2) lubricación por anillo.
- 3) lubricación por presión.
- 4) lubricación por inyección

3.5.1.1. LUBRICACIÓN POR SALPICADURA.

En su forma más simple, la biela lleva un vástago que se sumerge dentro del depósito de aceite. De esta forma se crea una niebla de aceite que suministra lubricación a las superficies de los cojinetes y los cilindros.

Este sistema evita filtraciones de aceite. Se utiliza principalmente en compresores pequeños de pistón de simple efecto. Para obtener un control más apropiado de la cantidad de lubricante distribuido se toma el aceite de un recipiente donde el nivel esté continuamente controlado.

Entre las ventajas de este sistema está la simplicidad y su funcionamiento independiente del sentido de rotación.

Entre sus desventajas está que la película de los cojinetes, por no estar a presión, es demasiado fina y que en el periodo de arranque de la lubricación puede ser marginal.

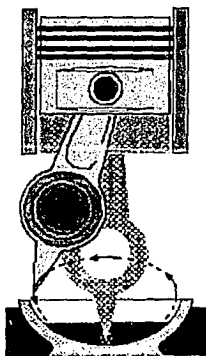


fig. 3.16.

3.5.1.2. LUBRICACIÓN POR ANILLO

El aceite es transportado por un anillo desde el fondo del depósito hasta una ranura en el cigüeñal, a través de la cual el aceite se distribuye a los diferentes puntos de lubricación.

El anillo se encuentra montado sobre el cigüeñal de manera tal que su parte inferior queda sumergida en aceite depositado en el cárter.

Al girar el cigüeñal, este conduce el anillo por efecto de fricción. La fuerza centrífuga creada, comunica al aceite la suficiente presión para que este alcance los puntos de lubricación.

Este sistema permite un mejor control de aceite utilizado y la independencia respecto a la dirección de rotación para su funcionamiento.

Sin embargo, su empleo debe limitarse a máquinas lentas y medianas rápidas.

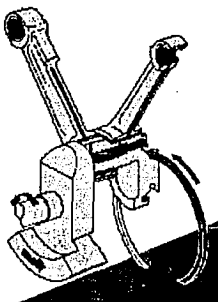


fig.3.17.

3.5.1.3. LUBRICACIÓN POR PRESIÓN

El mejor sistema para lubricar las partes móviles de un compresor es por medio de la presión creada por una bomba de lubricación de émbolo o de engranajes la bomba se diseña siempre con exceso de capacidad de la forma que la presión del aceite de lubricación se pueda mantener siempre, incluso cuando el compresor está muy gastado.

Las ventajas de este sistema de lubricación son:

- 1) El aceite llega a presión a todos los cojinetes, lo que representa menos pérdida por fricción y menos desgaste.
- 2) La lubricación no varía con el nivel del aceite del cárter.
- 3) El aceite puede filtrarse fácilmente.
- 3) Buena lubricación en el arranque del compresor.

3.5.1.4. LUBRICACIÓN POR INYECCIÓN

Algunos tipos de compresores rotativos emplean inyección de aceite para lubricar las piezas que sufren desgaste en la cámara de compresión. Normalmente la presión del aire de descarga se emplea para inyectar el lubricante dentro del compresor. Sin embargo, frecuentemente se emplea una bomba para el transporte interno del aceite.

3.5.2. SISTEMA DE REGULACIÓN

La capacidad de un compresor debe ajustarse a la demanda real del sistema en todo momento. Existen varios sistemas para controlar el flujo de descarga de los compresores. Ahora bien, el tipo de control a elegir dependerá de las características del compresor, del motor, y desde luego del sistema de aire comprimido.

Los sistemas de regulación se clasifican en :

- a) CONTROL DE VELOCIDAD CONSTANTE (carga-descarga) : Este es un sistema donde el compresor funciona continuamente a su velocidad de régimen normal.
- b) CONTROL DE VELOCIDAD VARIABLE: La velocidad variable del eje se utiliza como medio de regulación a veces cuando el accionamiento del compresor es por turbina o para compresores transportables accionados por motores de combustión.
- c) CONTROL POR ARRANQUE Y PARADA: Este sistema utiliza un control electroneumático. La presión de circuito es destacada por un preostato que controla el arrancador del motor de accionamiento del compresor. Este tipo de control es utilizado por lo general en compresores pequeños o siempre que las necesidades de aire se reduzcan a menos de la mitad de la capacidad del compresor.
- d) CONTROL MIXTO: Es por lo general una combinación de dos de los métodos de control ya descrito. Una sofisticación de este tipo de control la representa el control neumático, que en función del tipo de demanda selecciona el tipo de control más adecuado.

3.5.3. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

La cámara con el espacio dedicado a la compresión siempre se generará calor. Parte de este calor proviene del trabajo de compresión, el resto es generado por la fricción entre partes mecánicas y demás irreversibilidades.

El calor generado puede ser considerable, sobre todo cuando las relaciones de compresión son medianas o altas, pudiéndose alcanzar temperaturas extremas.

La mayoría de los compresores utilizan algún método para disipar parte de este calor, reduciéndose tanto la temperatura a la cual se someten los materiales del compresor, como la temperatura de salida del gas.

La cantidad total de energía utilizada por el compresor en forma de electricidad es completamente transformada durante el proceso de la compresión de aire, donde dicho aire debido al proceso de compresión se calentado a temperaturas elevadas, la parte principal de este calor es removida por métodos de enfriamiento.

Los medios de enfriamiento de aire son por medio de : inter-enfriadores, los cuales utilizan el principios de intercambio de calor.

Su función es la de remover el calor de las unidades de compresión y de las unidades secadoras de aire.

Las ventajas que se obtienen al enfriar los compresores son varias; entre ellas podemos mencionar:

- 1) Disminuyendo la temperatura de funcionamiento del compresor, se evita la expansión del gas durante la admisión al entrar en contacto con las diferentes superficies calientes; con esto se reducen las pérdidas de capacidad y la potencia consumida.
- 2) A menores temperaturas se alarga la vida del compresor y de sus partes componentes.
- 3) Reduciendo la temperatura interna del equipo se logra una mejor lubricación lo que significa mayor vida útil, y menos costo de mantenimiento.
- 4) La refrigeración acerca el proceso de compresión al isotérmico, aumentándose la eficiencia del compresor al disminuir la potencia requerida.

Los sistemas de refrigeración de los compresores pueden clasificarse en dos grupos:

- 1) Enfriamiento por aire.
- 2) Enfriamiento por agua.

3.5.3.1. ENFRIAMIENTO POR AIRE

Siendo el aire ambiental un elemento disponible en cualquier lugar, en cualquier cantidad, el enfriamiento por aire es el medio más económico y práctico. Este no contamina y no requiere de sistemas auxiliares especiales para disponer de él una vez que es usado (excepto en algunos casos de ventiladores y ductos). Sin embargo, la capacidad de absorción de calor del aire es limitada, por lo cual los equipos y grandes capacidades, que generan grandes cantidades de calor, no son eficientemente empleados por este medio.

Para incrementar la transferencia de calor los compresores enfriados por aire se diseñan con la inclusión de aletas; Ello aumenta la superficie de transmisión de calor.

Su función es la de remover el calor de las unidades de compresión y de las unidades secadoras de aire. En el caso de enfriamiento por aire se tienen varias alternativas de instalación:

- 1.- Instalación donde no hay ductos en la toma y salida de aire de enfriamiento o refrigeración (VER Fig. 3.19). Este tipo de refrigeración necesita una gran refrigeración de la sala de compresores, ya que la mayor parte del calor generado es liberado dentro de la misma sala, y por lo tanto se debe eliminar por medio del sistema de ventilación (enfriamiento) de la sala de compresores.
- 2.- Instalación donde sólo existe ducto a la salida del aire de enfriamiento o refrigeración (VER FIGURA 3.20).
- 3.- Instalación donde solo existe ducto en la toma de aire de enfriamiento o refrigeración (VER FIGURA 3.21). Este tipo de refrigeración necesita una gran refrigeración o ventilación de la sala de compresores, ya que la mayor parte del calor generado es liberado dentro de la misma sala, por lo tanto se debe eliminar por medio del sistema de enfriamiento o ventilación de la sala de compresores.

4.- Instalación donde existen ductos en la toma y salida del aire de enfriamiento o refrigeración (VER FIGURA 3.22).

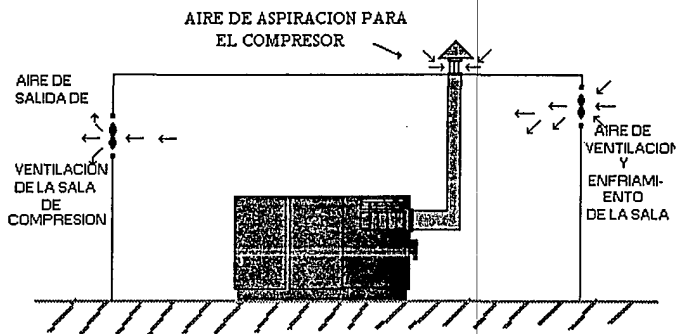


fig. 3.19

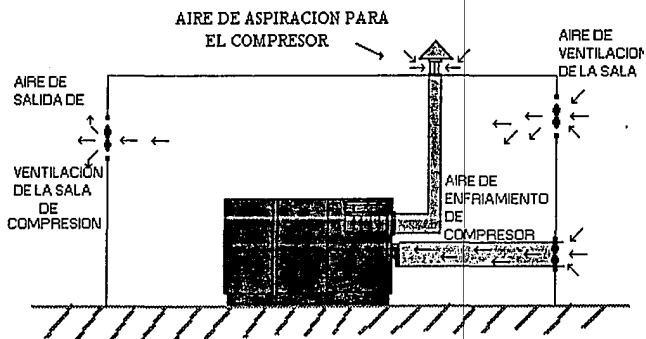


fig.3.20.

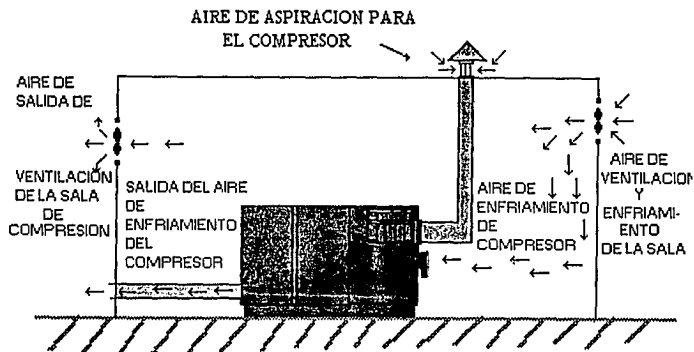


fig. 3.21.

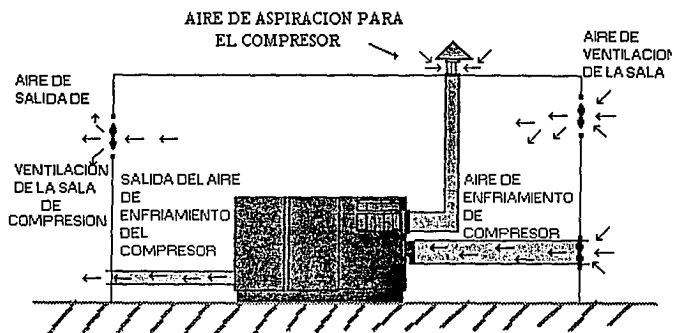


fig. 3.22.

3.5.3.2 ENFRIAMIENTO POR AGUA

El agua tiene mayor capacidad para remover el calor producido por la compresión; además, podemos regular su caudal y temperatura.

Fundamentalmente existen tres variantes en el enfriamiento por agua:

- 1) suministro de agua corriente: Se toma agua de la fuente confiable más cercana (agua corriente, el mar, un lago, un río, etc.) y se hace circular a través del sistema de enfriamiento del compresor. La extracción del calor depende del caudal y del incremento de la temperatura del agua.

- 2) Usando sistemas cerrados con radiador: La ventaja del radiador es que no se producen pérdidas del caudal de agua por evaporación. Este a su vez puede ser enfriado con agua corriente o con aire. La desventaja es que el consumo de potencia es mayor que el de las torres de enfriamiento y que el agua sólo puede ser enfriada unos 10°C sobre la temperatura ambiental.
- 3) Usando torres de enfriamiento: Se emplea un sistema de enfriamiento abierto o cerrado, desde el agua caliente que sale del compresor pasa por una torre de enfriamiento. En esta se pulveriza el agua para enfriarla y una vez fría está lista para su empleo nuevamente.

Una instalación refrigerada por agua no necesita una gran refrigeración de la sala de compresores, ya que la mayor parte del calor generado se quita por medio del agua de refrigeración. En esencia hay tres tipos de circuitos de agua de refrigeración.

Su función es la de remover el calor de las unidades de compresión y de las unidades secadoras de aire. Su principal ventaja es la de tener mejor capacidad para remover calor poder tener intercambiadores de calor de menor tamaño que los de aire.

En general podemos decir que la presión de trabajo del agua de enfriamiento no debe ser menor de 1 bar, ni mayor de 3 bar, con una temperatura no mayor de 50 C, ya que a temperaturas mayores de 50 C se pueden formar sólidos insolubles.

Otros dos puntos importante a considerar para la selección del tipo de enfriamiento a utilizar son:

1. - CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO
2. - TIPO DE CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO

3.5.3.2.1. CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

(Reglas generales):

Primeramente se tiene que ver:

1. - Que el agua de refrigeración este libre de arena y otras partículas sólidas.
2. - Que la dureza total de agua de refrigeración sea inferior a 10 - 12 ° dH (grados alemanes) .
3. NOTA : 1 °H(grado alemán = 17.86 p.p.m. CO C = 1.786 °F
4. - La presión del agua de refrigeración debe ser aproximadamente de 3 bar.
5. - La temperatura de entrada del agua debe ser inferior a 35 °C
- 5a.- Se recomienda que la temperatura de salida del agua de enfriamiento sea aproximadamente de 50 °C, ya que a temperaturas superiores aumenta el riesgo de formación de depósitos en las camisas de refrigeración y en los refrigeradores.

6. - Si su estudio de los puntos anteriores le sugieren que empleé una torre de refrigeración para enfriar el agua de enfriamiento, debe verse que la torre tenga un sistema de dosificación química para evitar que se formen depósitos y algas.
7. - Calcular el caudal correcto requerido por medio de la fórmula, con la cual, podrá verse la cantidad de agua que se necesitará para limitar en 15 °C el aumento de temperatura del agua de refrigeración.

CON REFRIGERADOR POSTERIOR

$$V = P \times 0.015$$

SIN REFRIGERADOR POSTERIOR

$$V = P \times 0.008$$

DONDE:

V = volumen del agua en l/s

P = la potencia al eje en KW

8. - Debe de realizarse un análisis de laboratorio acerca de la calidad del agua que se utilizará para enfriamiento, en los puntos más importantes a considerar son:
- 8.1. - Calcio, Bicarbonato y Dióxido de carbono libre de concentrados ya que estos están aproximadamente en equilibrio para un máximo de temperatura ocurriente en el sistema (menor de 90 C).
- 8.2. - El grado de acidez (PH) debe de estar limitado.
- 8.3. - La concentración de diferentes componentes en el agua debe de estar limitado.
- 8.4. - La concentración de sólidos suspendidos, aceros y otros metales deben de estar limitados.
- 8.5. - No oxígeno para agua que contenga una alta concentración de hierro y/o manganeso.

3.5.3.2.2. TIPO DE CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO

En esencia hay tres tipos de circuitos de enfriamiento por agua:

- 1) CIRCUITO CONTINUO
- 2) CIRCUITO ABIERTO
- 3) CIRCUITO CERRADO

3.1) CIRCUITO CERRADO UTILIZANDO REFRIGERACIÓN POR INYECCIÓN DE AIRE

3.5.3.2.2.1. CIRCUITO CONTINUO

El agua proviene de ríos, pantanos o pozos, pasa por la planta compresora y luego se desagua. Este sistema tiene varias desventajas:

- 1) El agua puede ser de dudosa calidad.
- 2) El agua puede ser de dudosa limpieza.
- 3) La legislación de muchos países hace que este sistema sea ilegal o al menos muy caro.

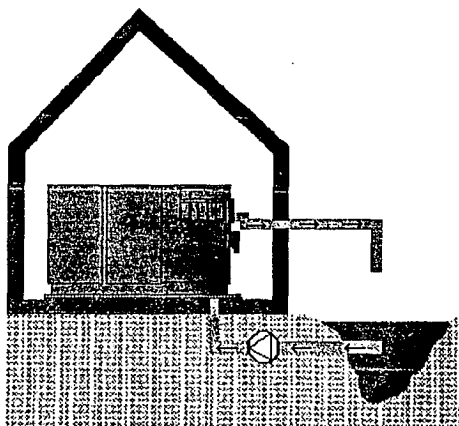


fig.3.23.

3.5.3.2.2.2. CIRCUITO ABIERTO

El agua calentada al pasar por el compresor, retorna a una torre de refrigeración en donde se enfría con el aire ambiente. Aún siendo eficiente, este sistema tiene pérdidas de agua por evaporación en la torre de refrigeración.

El agua de refrigeración debe de estar completamente libre de sólidos en suspensión y debe de tener un mínimo de sólidos disueltos.

Las sales solubles se depositan en la parte caliente de las superficies y reducirán la capacidad de transferencia de calor de los refrigeradores. A menudo es necesario el análisis y tratamientos químicos del agua de forma continua para el circuito continuo y regularmente para los sistemas abiertos. Un sistema con circuito cerrado, si se llena con agua de buena calidad, no requiere normalmente más atención.

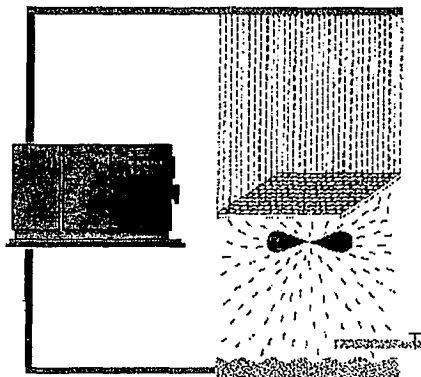


fig.3.24.

3.5.3.2.2.3. CIRCUITO CERRADO

El agua calentada por el compresor pasa a través de una espiral cerrada suspendida en una corriente de agua, corriente de agua que se enfría por medio de una corriente de aire ambiente. Como su nombre lo indica, no hay contacto exterior con el agua de refrigeración.

En las zonas en las que el agua de refrigeración es agresiva, se recomienda el empleo de refrigeradores hechos con materiales no corrosivos tales como incoloy o fibras de vidrio.

Un sistema con circuito cerrado, si se llena con agua de buena calidad, no requiere normalmente mucha atención.

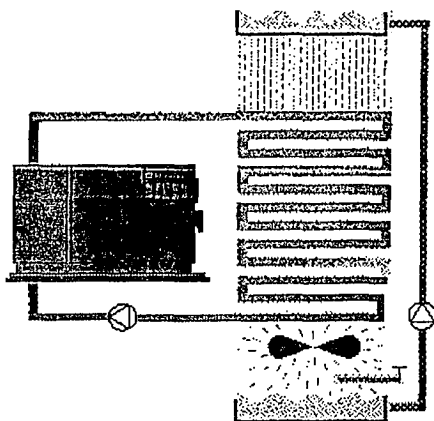


fig.3.25.

3.5.3.2.2.4. CIRCUITO CERRADO UTILIZANDO REFRIGERACIÓN POR INYECCIÓN DE AIRE

El circuito de refrigeración por inyección de aire es esencialmente el mismo que el circuito de agua cerrado, excepto que el agua de la espiral se enfría directamente con una corriente de aire.

La eficiencia de enfriamiento de un sistema con circuito cerrado o abierto, es aproximadamente la misma, o sea, el agua del compresor se enfría a unos 5°C por encima de la temperatura atmosférica de bulbo húmedo.

El sistema por inyección de aire enfría el agua a unos 10°C por encima de la temperatura atmosférica de bulbo seco y por esto es menos efectivo.

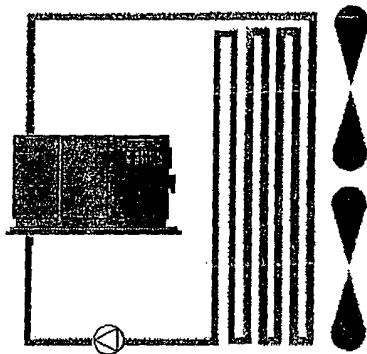


fig.3.26.

3.5.4. SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y PROTECCIÓN

Una forma de reducir costos de mantenimiento en una instalación de compresores, es mantener bajo control los puntos críticos y provocar automáticamente la parada en caso de anomalía.

El cierre o desconexión a tener lugar antes de llegar a una situación de peligro. El número de elementos de detección necesarios, varía, desde luego, en cada caso y en función de sus aspectos técnicos.

Normalmente la supervisión se realiza sobre la presión de aceite y la temperatura del aire aunque adicionalmente pueden ser una ayuda importante otras protecciones extras como el control de la temperatura del aceite, el bajo voltaje, etc.. La protecciones extras de seguridad están diseñadas normalmente para dar una señal eléctrica " si " o " no " al elemento de control, que en el caso de recibir la señal " no ", acciona el interruptor de cierre.

Es preferible que la unidad de control pueda memorizar el defecto y lo indique en una luz. El compresor no podrá ser arrancado de nuevo sin un previo rearme del regulador y no funcionará hasta que el fallo sea subsanado.

Otro dispositivo de protección es la válvula de seguridad esta puede estar instalada a la salida de la cámara de compresión, en la descarga del compresor, en el tanque de aire comprimido, etc..

La válvula de seguridad quedará definida por dos parámetros: Presión y Área del orificio de la válvula.

3.6. ACCESORIOS POSTERIORES AL COMPRESOR

- 1) SECADORAS DE AIRE COMPRIMIDO
- 2) TANQUE RECIBIDOR

3.6.1. SECADO DE AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido a la salida del compresor está saturado con vapor de agua que al ser enfriado, en la red, se condensa causando una seria de daños en ésta y a los equipos.

Para solucionarlos y producir aire de buena calidad, se hace necesario el secado del aire comprimido.

Los métodos de secado de aire son:

- 1) SOBRECOPRESIÓN.
- 2) ENFRIAMIENTO.
- 3) ABSORCIÓN.
- 4) ADSORCIÓN.

3.6.1.1. SOBRECOPRESIÓN

En este método, el gas es comprimido hasta que la presión parcial del vapor de agua excede su presión de saturación.

La presión de compresión debe ser mayor que la de trabajo, de manera que cuando el aire se expanda luego del separador, estará suficientemente seco para no producir condensado.

Este es el método más simple, es continuo y no necesita aparatos especiales. Pero la potencia consumida es alta y no es efectiva cuando se producen grandes incrementos de la temperatura, por lo que es usado sólo para pequeñas capacidades.

SOBRECOMPRESION

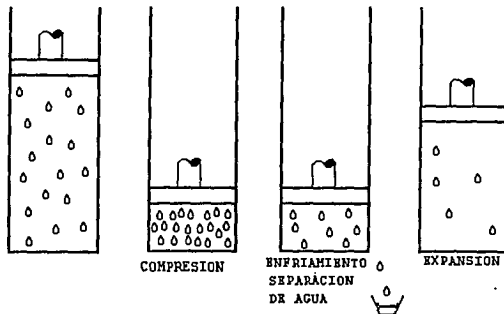


Fig. 3.37

3.6.1.2. ENFRIAMIENTO

Es sabido que a menor temperatura, menor es la capacidad del aire de contener agua.

Por esto, el método clásico de extraer humedad del aire mediante un post enfriador o un refrigerador que enfría el aire, condensando la mayor cantidad de agua contenida, separándola luego en una trampa de condensado.

El grado de secado (punto de rocío) obtenido en el enfriador, depende de la temperatura del medio ambiente. Un valor promedio del diseño permite enfriar el aire comprimido hasta 10°C sobre la temperatura de entrada del medio ambiente.

Este enfriamiento, disminuye el volumen específico del aire y su contenido de carga de energía.

Para el uso del postenfriador no causa una pérdida real de energía ya que el aire se enfría de todas formas en la línea creando además, todas las complicaciones y problemas inherentes a la condensación.

Secadores de refrigeración.

Como el enfriamiento producido por el post enfriador no es suficiente para impedir una posterior condensación en el sistema de aire comprimido, es necesario un enfriamiento adicional.

Este trabajo lo realiza un secador de aire por refrigeración, el cual efectúa el intercambio de calor entre un refrigerante y el aire por medio de un intercambiador.

Debido a que el punto de congelación del agua es de 0°C , el circuito de refrigeración se ajusta hasta enfriar el aire entre 2 a 5°C como mínimo.

3.6.1.3. ABSORCIÓN

El secado por absorción es un proceso químico donde el vapor de agua es transferido a la substancia absorbente. La absorción de vapor de agua puede hacerse con absorbentes sólidos o líquidos.

Los absorbentes líquidos (ácido sulfúrico, glicerina, glicol, etc.) son ampliamente usados en aire acondicionado, mientras que los sólidos son más aplicados en aire comprimido.

El más común de estos es el tipo delicuescente que se licúa al reaccionar químicamente con el vapor de agua. Por lo tanto, el material absorbente debe reemplazarse periódicamente.

Algunas sales delicuescentes son cloruro de calcio, cloruro de litio, etc. Desafortunadamente estos agentes secantes son altamente corrosivos.

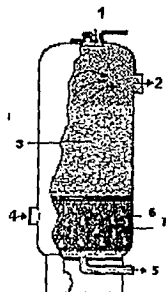
A 7 bar de presión a 24 °C aproximadamente, 1 gr. de absorbente es usado para secar 1 m³ de aire.

El consumo continuo del absorbente causa un costo elevado en estos secadores a pesar de su costo inicial.

Con este tipo de secadores existe el riesgo de que el aire seco transporte material absorbente y cause problemas en la red de aire comprimido.

Otra desventaja es que a temperaturas sobre los 30 °C este material tiende a aglomerarse, lo que aumenta las pérdidas de presión.

Las secadoras de absorción producen una reducción del punto de rocío hasta aproximadamente +15°C.



- 1 Tapa de acceso para cargar desecante
- 2 Salida de aire seco.
- 3 Tablet de desecante.
- 4 Entrada de aire.
- 5 Drenaje.
- 6 Pre-secado.
- 7 Separación mecánica.

Fig. 3.28.

3.6.1.4. ADSORCIÓN

Este es un método de secado que produce los puntos de rocío más bajos. El secado se produce empleando un adsorbente sólido mediante un proceso físico, retiene el vapor de agua contenido en el aire, para luego eliminarlo en un segundo ciclo de desadsorción al ser sometido el adsorbente a un proceso de reactivación.

La duración de ambos ciclos es similar, tomando en cuenta los procesos complementarios de regeneración (enfriamiento, descompresión, presurización).

Los secadores de adsorción están compuestos por 2 torres que contienen cada uno su respectiva cantidad de adsorbente.

Una secuencia cíclica de procesos de secado y regeneración en cada una de los torres, permite obtener un flujo continuo de aire seco. El punto de rocío depende del tipo de adsorbente y varía aproximadamente -20°C hasta -80°C .

Los sistemas de secado por adsorción pueden clasificarse en los siguientes grupos:

1. Secadoras regeneradores térmicamente (por calor).

1a. Con aporte de energía externa.

1b. Sin soporte de energía externa.

1a. La fuente de energía externa puede ser una batería de resistencias eléctricas blindados sumergidas en un lecho deshidratante o por un calentador eléctrico o vapor.

1b. La regeneración se hace mediante la recuperación de calor del aire comprimido, el cual sale del compresor a una temperatura elevada y empleando un intercambiador de calor, el aire comprimido cede su calor al deshidratante para promover su desadsorción.

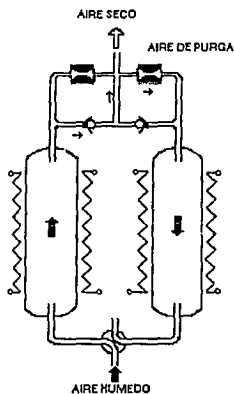


fig.3.29

2. Secadores regenerados por transferencia de tensiones de vapor (sin calor)
Estos secadores no necesitan la aportación de calor; una pequeña fracción del aire seco que se hace circular en la torre de regeneración de la que prácticamente a presión atmosférica cargado de humedad y dejando regenerado al absorbente.

Un contaminante que reduce la vida útil del material adsorbente es el aceite. Los vapores de aceite arrastrados por el aire comprimido a tratar, contaminan y van obstruyendo los poros de la coquificación del adsorbente, lo cual determina una reducción en la vida útil del mismo.

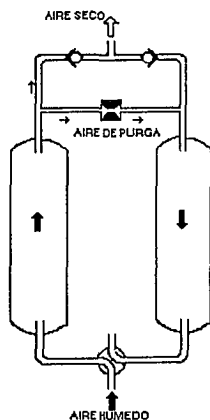


fig.3.30.

Capacidades bajo condiciones diferentes a las nominales.

Para temperaturas y presiones de entrada y puntos de rocío a la salida distintos de los nominales, se obtiene la capacidad corrigiendo las cifras de capacidad bajo condiciones nominales que se obtiene en el diagrama mediante un factor de corrección

$$K = Q_{\text{real}} / Q_{\text{nominal}}$$

Esto no se aplica a las pérdidas de aire, que permanecen invariables.

3.6.2. TANQUE RECIBIDOR

La función del receptor de aire es almacenar aire comprimido. Además el receptor de aire asegura un fluido estable de aire al equipo de aire comprimido e iguala variaciones de presión momentáneas en el arrea que pudieran causar frecuentemente carga/descarga del compresor.

Generalmente el receptor de aire está provisto con una válvula de vaciado.

El diseño, construcción e inspección del receptor de aire, con sus accesorios son gobernados por la reglamentación de las autoridades locales para recipientes.

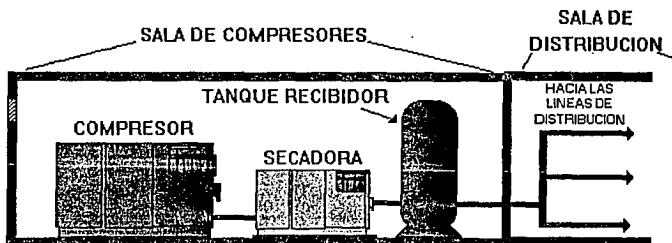


fig.3.31.

3.7. INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE AIRE.

3.7.1. INSTALACIÓN CENTRALIZADA O DESCENTRALIZADA.

Una de las primeras cuestiones que ha de decidirse a la hora de planificar una instalación de aire comprimido, es la de si se establecerá una planta compresora, o una serie de unidades situadas en los puntos principales de consumo.

La situación de una instalación compresora requiere una decisión fundamental: la planta compresora ¿debe estar centralizada o descentralizada?. En otras palabras, ¿debe de haber una sola estación de compresión, o varias estaciones satélite situadas cerca de los puntos de consumo?.

Hay que tener también en cuenta la posibilidad de unos requerimientos mayores de aire, así como expansiones o modificaciones futuras.

3.7.1.1. CENTRALIZADA

En general, es la recomendada. Con ella se obtienen ahorros tanto iniciales como continuos de todo tipo.

Los puntos a tener en cuenta al seleccionar una instalación centralizada son:

1. La capacidad total de compresores instalada es menor y posiblemente el costo inicial es mas bajo.
2. El rendimiento es mayor y los costos de energía menores al instalar unidades de compresores mayores.
3. Es más fácil la aplicación de las técnicas de conservación de energía y recuperación de calor.
4. Costos de supervisión y mantenimiento más bajos.

3.7.1.2. DESCENTRALIZADA

Solo se recomienda en casos especiales, donde las distancias entre los punto de consumo son muy largas, donde se necesitan calidades de aire diferentes o se desea un mejor control sobre la red de aire comprimido.

Los puntos a tener en cuenta al seleccionar una instalación descentralizada son:

1. La potencia y/o presión se pueden adaptar a los requerimientos locales de la planta.
2. Se pueden usar tuberías más pequeñas y de menor diámetro, reduciendo las fugas y los costos.
3. Un fallo en el suministro de aire comprimido tiene un efecto localizado, es decir, que si por alguna circunstancia llega a fallar cualquier compresor, esto no implique que se tenga que parar la producción de la empresa, o sea, que el paro de una unidad compresora solo afecta una área.

3.7.1.3. CANTIDAD DE UNIDADES COMPRESORAS.

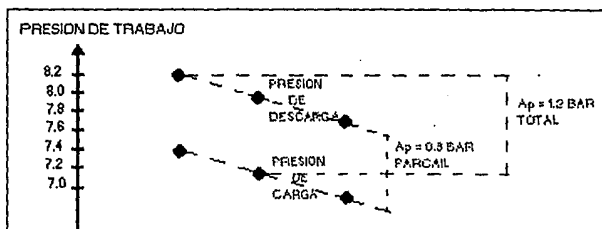
Su número depende de factores tales como la cantidad a invertir inicialmente, el tipo de industria, el consumo y factores técnico propios del equipo. Cuando se tiene una cantidad limitada para inversión, se tiende siempre a escoger una sola unidad grande debido a los ahorros iniciales de todo tipo.

Pero también hay que tomar en cuenta el tipo de industria. Si la unidad se detiene, puede ser que las pérdidas ocasionadas sean comparables al ahorro en la inversión inicial. Por otro lado, en caso de trabajo reducido en turnos o días secundarios, el poder accionar tan solo la unidad que se necesite de

acuerdo al consumo, permite ahorrar energía y efectuar mantenimientos programados.

Si el consumo es tal que ocurren pico esporádicos podría ser conveniente tener un sistema de aire comprimido mucho menor que el principal para cubrirlos.

El número de unidades podía verse limitado por el diferencial de presión, como se observa en el gráfico siguiente:



Gráfica 3.1

Como se puede apreciar, las unidades están reguladas en cascada, de manera que cuando la N° 1 no logre mantener la presión por exceso de consumo, entre en funcionamiento la N° 2, y así sucesivamente. Al disminuir el consumo, las unidades salen de operación en sentido inverso.

Con más de 5 unidades, el A_p total se hace muy grande y caería fuera de los rangos normales de control. Por otro lado, la unidad N° 1 debe elevarse su presión al máximo, lo que le restaría eficiencia.

3.7.2. LOCALIZACION DE LA PLANTA COMPRESORA.

Primeramente diremos que la planta compresora:

NO debe de estar cerca de fuentes de calor (calderas, motores de combustión, etc.), ni de polvo (depósitos, caminos, procesos, etc.).

SI debe de estar cerca de las fuentes de servicio, electricidad, agua, enfriamiento, etc.) y de las de consumo, así como tener la mayor comodidad para inspección y mantenimiento, buena iluminación, espacios laterales y superiores amplios, etc.).

Posteriormente se debe ver los requerimientos que debe cumplir la planta compresora.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

3.7.2.1. CARACTERÍSTICAS O REQUERIMIENTOS DE LA SALA COMPRESORA.

En lo que se refiere a requerimientos que debe cumplir la planta compresora tenemos:

1. - EL LOCAL
2. - LAS BASES DE LOS COMPRESORES
3. - LOS SISTEMAS AUXILIARES
4. - LA VENTILACIÓN
5. - EL EQUIPO ELÉCTRICO Y DE CONTROL

3.7.2.1.1. EL LOCAL

El local o planta depende mucho de las condiciones ambientales, tipo de industria y compresor. Si las condiciones ambientales lo permiten, el local debe de ser lo más abierto y ventilado posible, construido de materiales refractarios y fáciles de modificar.

En algunas industrias, la llaman "CASA DE FUERZA " contiene todas las facilidades para la instalación de los compresores. En otras solo tienen un área al aire libre con alguna protección contra el sol o la lluvia directa.

Según el compresor, se necesitará toda una sala especial para su instalación o tan solo un pequeño espacio dentro de la misma fábrica, en el caso de los tipo paquete isonorizado. En todos los casos, el piso debe ser del tipo de concreto corrugado, con inclinación para desagües, suficiente espesor para poder colocar anclajes, y, cualquier canal debe estar tapado con rejillas metálicas removibles.

Siempre debe dejarse espacio suficiente para futuras expansiones tanto en espacio como en tamaño de conexiones de los servicios.

La instalación de los compresores debe realizarse en una sala o edificio a parte, consiguiéndose una planta sencilla y práctica, con bajos costos de instalación y funcionamiento. Una planta compresora necesita cables y tuberías para la electricidad, agua de refrigeración, aire de aspiración y ventilación de la sala, aire comprimido, debiendo instalarse de forma que cada tubería y cada cable sean fácilmente accesibles para reparaciones y ajustes, sin interferencias.

Actualmente se instalan los compresores con sus equipos auxiliares y tuberías de aspiración, filtros, refrigerador posterior y frecuentemente, también sus propios depósitos, como unidades independientes, de forma que se pueda parar una unidad para mantenimiento u operación sin parar el servicio suministrado por otra unidad . Para tener un funcionamiento óptimo, el compresor debe de estar situado en un ambiente que sea lo mas frío posible. La instalación debe de estar adecuadamente protegida de la intemperie, a no ser que se haya diseñado especialmente para trabajar al aire libre.

2) PUNTOS IMPORTANTES EN LO REFERENTE AL ESPACIO DE LA SALA DE COMPRESORES :

Usted debe checar los planos donde figuran las dimensiones del compresor, el espacio para mantenimiento, las propuestas de instalación y las necesidades de fundación antes del diseño de la sala de compresores.

A continuación el usuario deberá analizar:

- 1.- Checar que la entrada de su sala de compresores, sea lo suficientemente alta y ancha para meter y sacar sus compresores.
- 2.- Checar que la sala sea lo suficientemente grande para ofrecerle un espacio adecuado en torno a sus compresores para la instalación, ventilación, inspección, mantenimiento servicio.
- 3.- Tener suficiente espacio encima y alrededor de sus compresores para desmontar el motor eléctrico y colocarlo en el suelo.
- 4.- Tener una sala de compresores con suficiente espacio para instalar un segundo compresor en el futuro.
- 5.- Tener disponible una sala de compresores de un equipo de elevación adecuado para llevar a cabo reparaciones de cierta envergadura.
- 6.- Tener disponible un polipasto, o es caso contrario una grúa móvil o una carretilla elevadora en la sala de compresores.
- 7.- Checar que el piso especial donde será montado el compresor, no tenga una inclinación de más de 6 mm (1/4").
- 8.- Los pernos de anclaje sólo son necesarios para compresores de pistón instalados en fundaciones especiales; No se necesitan para compresores PACK.
- 9.- Usted debe checar los planos donde figuran las dimensiones del compresor, el espacio para mantenimiento, las propuestas de instalación y las necesidades de fundación antes del diseño de la sala de compresores.

3.7.2.1.2. BASE DE LOS COMPRESORES

La base donde irá montada el compresor dependen en su totalidad del tipo de compresor.

Los del tipo tornillo y paleta no originan vibraciones y pueden ser empernados sobre una base de concreto firme y nivelada. Si es posible, levantada unos centímetros del piso, pero sin necesidad de estar calculada para otras cargas que no sea el peso estático del equipo.

Los del tipo centrífugo o reciprocante generan vibraciones de diversa índole, lo cual exige un estudio muy detallado de las mismas (incluyendo ensayos) para determinar el tipo de base necesaria. En general el fabricante suministra diagramas específicos de bases, como lo muestra la figura.

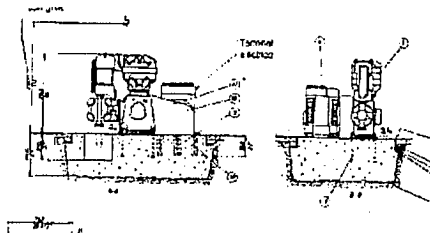


Fig.3.32

La forma más sencilla de instalación para este tipo de compresores es permitirles que vibren dentro de cierto rango y aislarlos de la base por medio de cojinetes flexibles.

Otra forma es cuando este arreglo puede venir preparado de fábrica como lo muestra la imagen y el ahorro obtenido al no necesitar una base especial es tremendo.

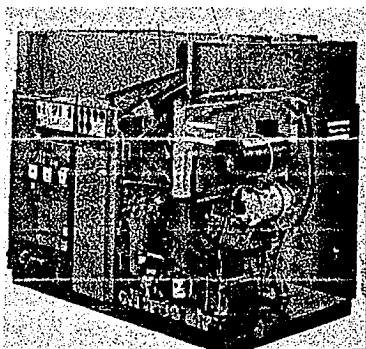


fig. 3.32

3.7.2.1.3. SISTEMAS AUXILIARES

Por ellos se entienden sistemas tales como el de potencia eléctrica, de agua de enfriamiento, grúas y otros necesarios para la operación y mantenimiento

del equipo. Todos ellos deben de ser independientes y únicos para cada compresor; debidamente protegidos y en lo debido acoplarse flexiblemente al compresor en si.

3.7.2.1.4. VENTILACIÓN

En lo que se refiere al estudio y análisis de la ventilación podremos ver que esta se divide en dos tipos:

- 1.- VENTILACIÓN DE LA SALA DE COMPRESORES
- 2.- VENTILACIÓN DE AIRE PARA LA ENTRADA DEL COMPRESOR

3.7.2.1.4.1. VENTILACIÓN DE LA SALA DE COMPRESORES

Es necesario circular continuamente aire fresco para remover el calor generado por el compresor, motor de accionamiento, secador de aire, y el calor radiado por los refrigeradores y tuberías.

El aire descargado en la sala de compresores por los compresores refrigerados por aire y los refrigeradores posteriores, contienen en forma de calor aproximadamente el 100% de la energía absorbida por el motor de accionamiento. Este calor hay que quitarlo para mantener la temperatura de la sala de compresores en un nivel aceptable. El fabricante del compresor le dará información detallada sobre la ventilación requerida para disipar el calor generado.

PUNTOS IMPORTANTES QUE DEBE CUMPLIR EN LA VENTILACIÓN DE LA SALA DE COMPRESORES

1. Checar que la capacidad del ventilador sea suficiente para limitar a 7°C el aumento de temperatura de la salas de compresores.
2. Tomar en cuenta un aire de ventilación adecuado para las secadoras refrigeradas por aire si estas se fueran a instalas.
3. Ver que el aire de ventilación provenga del lugar mas fresco y más limpio del exterior de la sala de compresores.
4. Si sus compresores será instalado en una zona la cual es muy sucia, o sea, con mucho polvo, se recomienda instalar un PANEL FILTRANTE con su propio ventilador para el aire de ventilación, a fin de reducir al mínimo la presencia del polvo, arena y otras partículas.
5. Debe instalar en la abertura de salida del aire de enfriamiento de la sala de compresores una rejilla para impedir que penetre el polvo.
6. Debe diseñarse una abertura de ventilación con una tamaño adecuado. La velocidad del aire de ventilación no debe de ser mayor a 4 m/s a través de

una abertura sin restringir, ni sobrepasar 2.5 m/s a través de la rejillas o paneles filtrantes.

A continuación el un dibujo de muestra un sistema de ventilación de una sala de compresores:

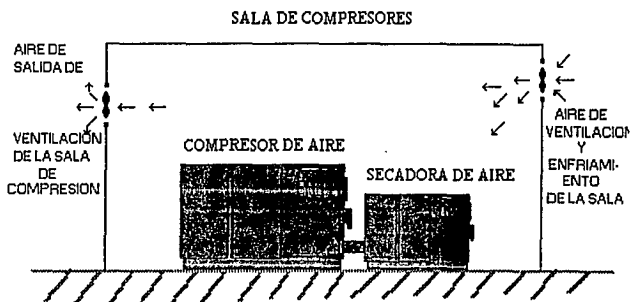


fig.3.33.

3.7.2.1.4.2. VENTILACIÓN PARA LA TOMA DE AIRE DE LA ENTRADA DEL COMPRESOR

El diseño de los compresores exige unos límites de temperatura ambiente para poder rendir su máxima eficiencia.

En general, el valor se encuentra entre los 40 y 45°C. Por otra parte, por cada 3°C de temperatura, el aire varía su densidad en aproximadamente un 1%, por lo que el caudal de un compresor se verá afectado en igual porcentaje, debido a lo anterior, podemos sugerir para lugares en donde la temperatura del aire ambiente es mayor de 15°C un pre-enfriador.

A continuación veremos los puntos importantes a considerar en la toma del aire del compresor.

Primeramente hay que verificar o analizar de donde tomaremos el aire de aspiración del compresores:

- 1.- De la propia sala de compresores.
- 2.- Fuera de la sala de compresores a través de un ducto de entrada de aire.

3.7.2.1.4.2.1. AIRE DE ASPIRACIÓN TOMADO DE LA PROPIA SALA DE COMPRESORES

1. Debe ver que el conducto de tubería de aire de aspiración, tenga una sección circular transversal, al menos un diámetro igual que la conexión del tubo de aspiración al filtro de aspiración estándar.

2. Si el ducto de tubería de aire de aspiración tiene más de dos codos, se deberá aumentar el diámetro interno del ducto de la tubería en un 50 % a fin de evitar las restricciones del flujo que se producen cuando la tubería tiene más de dos codos.
3. Otra de las cosas importantes que a que considerar en la nueva instalación, la cual muchas personas no le toman mucha importancia es ver que el conducto de tubería de aire de aspiración este correctamente soportado, que tenga un tratamiento anticorrosivo en el interior.
4. Si la longitud del ducto de aire de aspiración es superior a los 10 metros, deberá aumentarse el diámetro del conducto de la tubería en un 50 %, para evitar las restricciones de flujo que se produce debido a la longitud de la tubería.

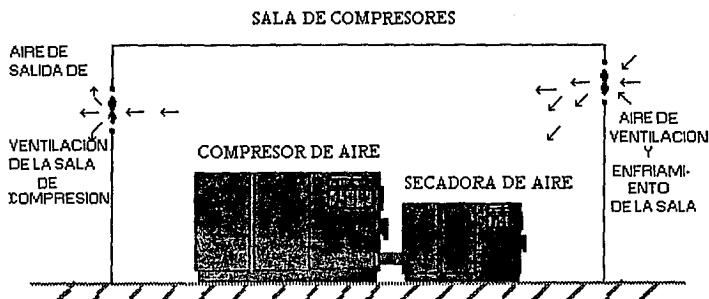


fig.3.34

3.7.2.1.4.2.2. AIRE DE ASPIRACIÓN TOMADO FUERA DE LA SALA DE COMPRESORES A TRAVÉS DE UN DUCTO DE ENTRADA DE AIRE

Primeramente se debe ver que:

1. La entrada de aire exterior, debe de estar cuando menos 3 metros sobre el nivel del suelo y por encima del tejado.
2. Se debe de equipar a la entrada de aire exterior con:
 - 2.1) Una cubierta para proteger contra el agua de lluvia.
 - 2.2) Una red o pantalla protectora.
 - 2.3) Un prefiltro para reducir el nivel de partículas contaminantes en el aire.
3. También se debe ver que el conducto de tubería de aire de aspiración, tenga una sección circular transversal, al menos un diámetro igual que la conexión del tubo de aspiración al filtro de aspiración estándar.

4. Si el ducto de tubería de aire de aspiración tiene más de dos codos, se deberá aumentar el diámetro interno del ducto de la tubería en un 50 % a fin de evitar las restricciones del flujo que se producen cuando la tubería tiene más de dos codos.
5. Otra de las cosas importantes que a que considerar en la nueva instalación, la cual muchas personas no le toman mucha importancia es ver que el conducto de tubería de aire de aspiración este correctamente soportado, que tenga un tratamiento anticorrosivo en el interior.
6. Si la longitud del ducto de aire de aspiración es superior a los 10 metros, deberá aumentarse el diámetro del conducto de la tubería en un 50 %, para evitar las restricciones de flujo que se produce debido a la longitud de la tubería.

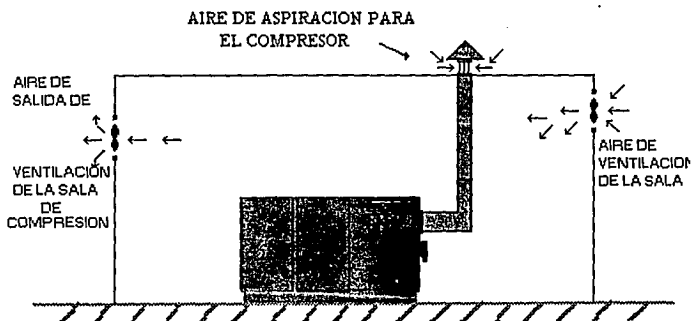


fig.3.35

3.7.2.1.5. EL EQUIPO ELÉCTRICO Y DE CONTROL

1. - EL MOTOR ELÉCTRICO
2. - EL ARRANCADOR DEL MOTOR ELÉCTRICO
3. - EL CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGA Y DESCARGA
4. - CONTROL DE PRESIÓN
5. - CONTROL DE TEMPERATURA

3.7.2.1.5.1. EL MOTOR ELÉCTRICO

Su selección se basa puramente en las necesidades particulares del usuario y del compresor, así como del tipo de acoplamiento. El usuario puede exigir motores abiertos, semi o completamente cerrados, así como a prueba de explosión.

Los tipos de motores pueden variar desde monofásico, pasando por los trifásicos jaula de ardilla, hasta los síncronos.

El voltaje puede ser desde 110 volts, hasta más de 6 Kvolts.

La potencia del motor eléctrico es función de la potencia al eje requerida por el compresor y el ventilador del interenfriador.

Por último, dependiendo del acoplamiento, se necesitan ejes especiales, potencia extra y dimensiones especiales.

Hoy en día, no hay que preocuparse de todo lo dicho anteriormente en la instalación de un sistema de compresores, ya que, la mayoría de las empresas integran el motor como parte del mismo compresor.

3.7.2.1.5.2. EL ARRANCADOR DEL MOTOR ELÉCTRICO

Por arrancador del motor se entiende como aquel que ayuda al arranque del motor. El arrancador también puede variar por las mismas causas que el motor. Así, tenemos arrancadores eléctrico directos o de voltaje reducido de varios tipos.

3.7.2.1.5.3. EL CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGA Y DESCARGA

El sistema automático de carga y descarga puede automatizarse colocándole un interruptor de tiempo y otros auxiliares. Cuando se alcance su máxima presión y el equipo trabaje sin demanda, este se apagará después de un tiempo determinado.

Cuando la presión baje a la mínima prefijada, el equipo volverá a funcionar automáticamente.

Este sistema es muchas veces equipo de norma y siempre puede solicitarse como opcional.

3.7.2.1.5.4. CONTROL DE PRESIÓN

Deben existir manómetros y válvula de seguridad para el aire comprimido en la tubería de salida y el tanque receptor, con el fin de conocer el comportamiento de la red y la unidad compresora.

También es recomendable colocar válvulas de alivio entre la salida del aire comprimido en la unidad y cualquier válvula de no retorno, para evitar accidentes personales al poder quedar presurizado algún tramo del sistema.

En caso de enfriamiento por agua, es conveniente colocar manómetros a la entrada y salida de la unidad.

3.7.2.1.5.5. CONTROL DE TEMPERATURA

Si se tiene enfriamiento por agua, se deberían colocar termómetros a la entrada y la salida de este sistema.

También son importantes las lecturas del aire comprimido antes y después del post-enfriador, bien sea agua o aire.

En general muchas fallas del compresor o el sistema de enfriamiento se traducen en un aumento rápido de la temperatura de salida del aire comprimido, por lo que es común que se coloque un interruptor prefijado a dicha señal.

Se recuerda que el motor eléctrico debe de estar debidamente protegido por un interruptor térmico.

No debe olvidarse nunca de colocar un termómetro ambiental en la sala de compresores.

3.8. COMPONENTES DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

Un red de aire comprimido esta compuesta de cuatro partes principales, las cuales son:

- 1.- LINEA PRINCIPAL
- 2.- LINEA DE DISTRIBUCIÓN
- 3.- LINEA DE SERVICIO
- 4.- ACCESORIOS DE LINEA

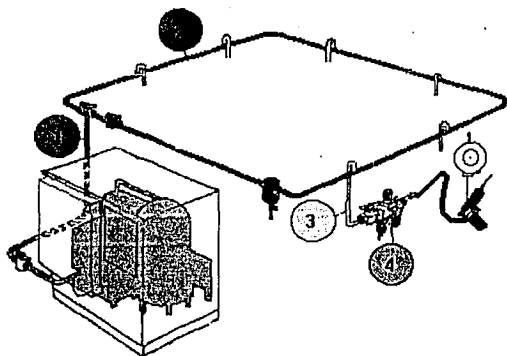


fig.3.36.

3.8.1. LINEA PRINCIPAL

La Línea Principal, es la encargada de conducir el aire comprimido desde la sala de compresores hasta las áreas de consumo, y los niveles de caídas de presión permisibles en dicha línea son 0.07 bar.

Para el cálculo del diámetro interno se debe sumar la longitud de la línea principal a la longitud de la línea de servicio, ya que si se consideran por separado se tendría una caída de presión en las líneas mayor de la recomendada (0.07 bar).

3.8.2. LINEA DE DISTRIBUCIÓN

La Línea de Distribución, es la encargada de distribuir el aire dentro del área de consumo y los niveles de caídas de presión permisibles en dicha línea son 0.07 bar.

Para el cálculo del diámetro interno se debe sumar la longitud de la línea principal a la longitud de la línea de servicio, ya que si se consideran por separado se tendría una caída de presión en las líneas mayor de la recomendada (0.07 bar).

En una línea de distribución podemos encontrar que esta puede ser de dos tipos:

- 1.- La de anillo
- 2.- La de línea

3.8.2.1. LA DE ANILLO

Dentro de una sala cerrada, la línea de distribución con forma de anillo es la más recomendable, ya que esta puede satisfacer la demanda de aire desde dos puntos distintos, evitando así, que una herramienta neumática no reciba la cantidad necesaria de aire para su excelente operación.

Para realizar el cálculo de medición de una línea de distribución con forma de anillo, solamente se mide el perímetro (en metros) y se divide entre dos, y esa es la longitud de la línea de distribución con forma de anillo.

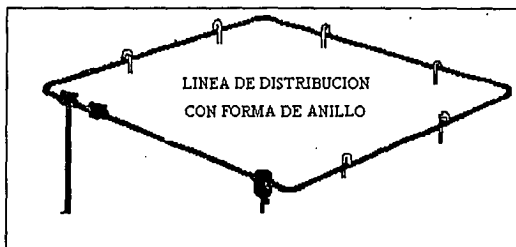


fig.3.36

3.8.2.2. LA DE LINEA

La línea de distribución de línea, es como su nombre lo indica, es decir, es una línea no cerrada con las formas caprichosas que se requieran, para la mejor distribución del aire comprimido.

La longitud de la línea de distribución de línea, es lo que mide a todo su largo.



fig.3.37

3.8.3. LINEA DE SERVICIO

La Línea de Servicio, es la encargada de llevar el aire de la Línea de Distribución al punto de trabajo y los niveles de caídas de presión permisibles en dicha línea son 0.03 bar.

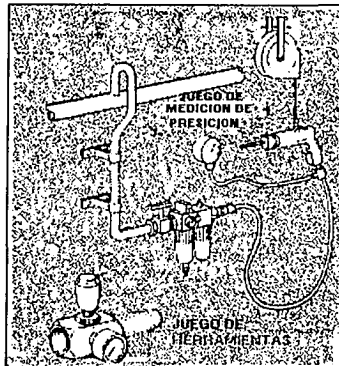


fig.3.38

3.8.4. ACCESORIOS DE LINEA

Los accesorios de línea, son todos los equipos como válvulas, conexiones, unidades de preparación de aire y mangueras requeridas para llevar el aire de la línea de servicio al consumidor

(donde el consumidor, pueden ser las herramientas neumáticas ó el proceso que requiere dicho aire).

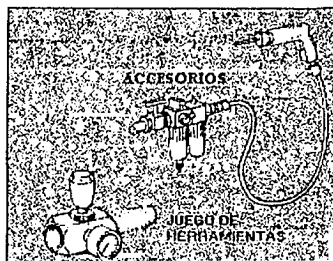


fig.3.39.

3.8.5. UBICACIÓN DE LA RED O REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

El objetivo del sistema de distribución es transportar el aire desde el depósito de almacenamiento hasta la herramienta o cualquier otro equipo neumático, con una pérdida de carga limitada.

Los tres puntos mas importantes para el rendimiento, seguridad y economía de una red de distribución de aire comprimido son:

- 1) Poca caída de presión entre el compresor y los puntos de consumo de aire.
- 2) Fugas mínimas
- 3) Alto grado de separación de condensados en todo el sistema.

Generalmente es mejor construir el sistema de tuberías en forma de anillo cerrado alrededor del área donde se produce el consumo de aire. A partir de este circuito principal se conectan las tuberías secundarias hasta los diferentes puntos de consumo de aire.

Primeramente hay que ver donde va estar ubicada o instalada la red de distribución de aire comprimido, es decir, si en el interior de un edificio o si en el exterior. Por lo tanto las redes se clasifican en :

1. - RED INTERNA DE TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRESO
2. - RED EXTERNA DE TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRESO

3.8.5.1. RED INTERNA DE TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

El diseño adecuado de una red interna de tuberías de aire comprimido varía según sea el tamaño de edificación, número de puntos de consumo de aire y su localización, etc. La red de distribución debe de tener forma de anillo cerrado, normalmente se puede emplear un cierto número de circuitos cerrados para cada piso conectándose cada lazo a una arteria principal (red principal).

Las redes internas se pueden instalar:

- 1) Por el suelo, en zanjas, con ramales secundarios.
- 2) Suspendidas de las paredes o del techo.

3.8.5.1.1. Por el suelo, en zanjas, con ramales secundarios.

Por el suelo, zanjas, con ramales secundarios. El uso de zanjas, sistema más empleados en el pasado, condicionaba la instalación por las zanjas de las tuberías, y resultaba difícil de cambiar. Tienen como ventajas el no obstaculizar el transporte interno al cubrir las zanjas por planchas y las paredes están libres de tuberías. Es un sistema normalmente conveniente en el caso de compresores de tamaño grande y mediano.



fig.3.40

3.8.5.1.2. Suspendidas de las paredes o del techo.

Suspendidas en las paredes o del techo. La fijación de las tuberías debe prever posibles dilataciones. A veces se utiliza este sistema con compresores de tamaño pequeño o mediano, dado su buen resultado. Las tuberías de aire comprimido montadas en las paredes deben de tener la artería principal alta, para evitar puertas y ventanas. El sistema debe de formar anillos cerrados con ramales secundarios hasta los puntos de consumo, o en habitaciones grandes, con conexiones horizontales a lo largo del techo y ramales secundarios verticales los puntos de consumo.

Los tubos van sujetos a columnas o a las partes interior de las vigas, componiendo una instalación de poco costo y fácil cambio. Las tuberías deben pintarse para protegerse contra la corrosión y normalmente no es necesario aislarlas. Los separadores de condensados deben de instalarse en los puntos más bajos y el drenaje de los mismos se debe de poder hacer fácilmente desde el suelo.

Los apoyos de las tuberías deben ser flexibles de forma que no se transmitan vibraciones al edificio. Las tuberías de suministro de compresores estacionarios de tamaño grande y mediano, deben de ser soldados con bridas que permitan el desmontar la instalación; en compresores pequeños, se utilizan conexiones roscadas.



fig.3.41

Los soportes, son como su nombre lo indica, son aquellos que ayudan que las tuberías de la red de aire comprimido estén sujetas a las paredes y los techos. En las figuras se muestran los clásicos soportes empleados cuando la tubería es instalada en las paredes o techos.

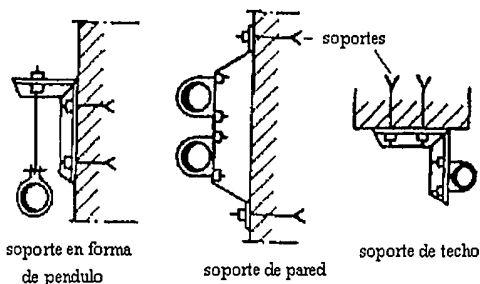


fig.3.42.

3.8.5.2. RED EXTERNA DE TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRESO

El diseño adecuado de una red externa de tuberías de aire comprimido varía según sea el número de puntos de consumo de aire y su localización, etc. La red de distribución debe de tener forma de anillo cerrado, normalmente se puede emplear un cierto número de circuitos cerrados para área de trabajo conectándose cada lazo a una arteria principal (red principal). Las redes externas se pueden instalar:

- 1) Por el suelo, en zanjas, con ramales secundarios:
- 2) Suspendidas de postes.

3.8.5.2.1. Por el suelo, en zanjas, con ramales secundarios:

La mejor solución es la instalación en galerías subterráneas, aprovechando las zanjas generales de la instalación industrial, cuidando el peligro de heladas que pudiesen producir congelaciones en los condensados y las subsiguientes obstrucciones; se preverá la buena conducción de los drenajes de condensado a la superficie, cuidando de que las válvulas estén cerradas y se puedan abrir con facilidad.

Tanto los colectores de condensado como las válvulas, irán en arquetas de fácil inspección. Las tuberías exteriores deben de ir soldadas y con bridas para las válvulas y separados. No se requiere que las tuberías de aire comprimido se aislen, salvo que se necesite aire caliente; llevarán pintura anticorrosiva en la parte externa.

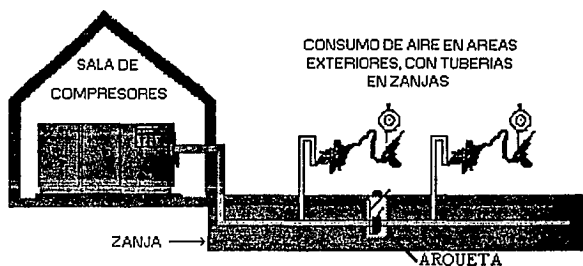


fig.3.43.

Cuando las redes de aire comprimido están situadas a la intemperie, en zanjas y se instalan separadores de agua, estos deben estar instalados en una arqueta protegido contra el riesgo de las heladas, como lo muestra la figura.

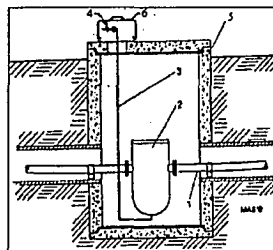


fig.3.44.

3.8.5.2.2. Suspendidas de postes.

Se pueden colgar también de postes por encima del suelo, sistemas mas baratos que el montaje subterráneo. Especial cuidado se tendrá en los separadores de condensados si existe riesgo de congelación. Hasta 50 milímetros, las conexiones pueden ser roscadas en vez de soldadas y utilizar tuberías con acoplamiento rápidos y juntas autobloqueantes entre las mitades acopladas, en estos casos, lo mejor es usar tuberías galvanizadas.

Las tuberías con acoplamientos rápidos se utilizan principalmente en instalaciones temporales, aunque también presentan ventajas en las permanentes. Lo mas económico para instalar tuberías de aire comprimido en el exterior es sobre zócalos. Tuberías con acoplamientos rápidos, galvanizadas en caliente, son particularmente aplicables para este tipo de instalación, ya que las juntas permiten la expansión y pequeñas desalineaciones.

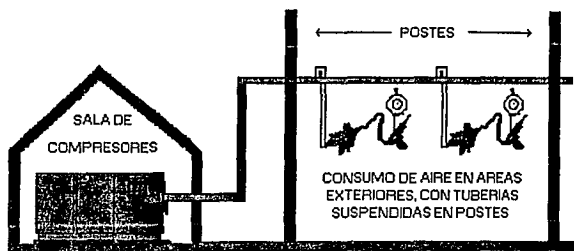


fig.3.45.

Dos puntos muy importantes a considerar en cualquier tipo de red de distribución de aire comprimido son, los condensados y los aceites.

A continuación se le dará una forma de ayuda para que verifique de acuerdo al tipo de compresor y secadora que instalará, si deberá o no preocuparse por los condensados y aceites.

1. - EL PROBLEMA DEL ACEITE
2. - EL PROBLEMA DEL CONDENSADO

3.8.5.3. EL PROBLEMA DEL ACEITE

Cuando es el caso, donde se instalan compresores lubricados, se tiene el problema de los aceites en la red de aire comprimido.

Proveniente del aire atmosférico aspirado por el compresor y del compresor en sí cuando éste tiene cámara de compresión lubricada. Del aire atmosférico,

puede venir algo de aceite en forma de niebla o vapores pero su cantidad, en general, es insignificante.

La cantidad de aceite que sale del compresor, junto con el aire comprimido, depende mucho de la cantidad, tipo y temperatura de lubricante, así como del tipo y tamaño del compresor.

Los compresores rotativos de paletas y tornillo, inundan la cámara con aceite, pero siempre tienen un separador de alta eficiencia que disminuye el contenido de aceite en el aire comprimido a unos 60 y 15 mg/m³ respectivamente.

3.8.5.3.1.¿ QUE EFECTOS PRODUCEN ?

En general, el aceite que ha logrado pasar a la red de aire comprimido se encuentra completamente degradado. Su capacidad lubricadora es nula y su grado de acidez y corrosión es alto.

Se encuentra tomando una emulsión junto con el vapor de agua condensado, de color marrón blanuzco, comúnmente llamada "condensado", con capacidad de introducirse en resquicios y luego expanderse al reaccionar el metal.

Los vapores de aceite tienden a formar gases corrosivos al combinarse con el vapor de agua y de por si son tóxicos en general; además de tener alta capacidad de impregnar sustancias con olores diversos.

En forma de partículas sólidas de carbón, podría acumularse a la salida de la cámara de compresión, erosionado y atascado válvulas de escape o creando posibilidad de ignición.

3.8.5.3.2. MÉTODOS PARA CONTROLAR EL ACEITE.

El mejor de todos es el de utilizar compresores con cámara de compresión no lubricada y eliminar el problema desde su inicio. Dichos equipos son más costosos que los lubricados y por otra parte puede ser que el uso tolere algo de aceite. En dichos casos se debe diseñar una red especialmente adaptada para manejar el aceite.

El aceite en forma líquida se mezcla junto con el agua del condensado, por lo que todos los métodos que se utilicen para eliminar dicho condensado, serán válidos para este caso. Esto se tratará en el análisis de condensados.

Como ejemplo, experimentalmente sea comprobado que el 99 % del aceite líquido se elimina por la trampa del postenfriador en la forma de condensado.

El aceite nebulizado puede ser eliminado en gran parte con un filtro de condensado del tipo cartucho coalescente.

El aceite en forma de partículas sólidas se puede eliminar con el uso de filtros en las diversas zonas productora de partículas.

3.8.5.4. EL PROBLEMA DEL CONDENSADO

Es la mezcla emulsionada resultante del vapor de agua condensado y el aceite líquido provenientes del aire atmosférico y del compresor, respectivamente.

El primer componente forma el 99% de dicha mezcla y en el caso de compresores no lubricados, el 100%.

A continuación sólo consideraremos al condensado como si fuese sólo agua.

El aire atmosférico dependiendo de su humedad relativa, contiene cierta cantidad de vapor de agua. Al comprimirse aumenta su temperatura y disminuye su volumen, por lo que dicho vapor, al pasar a la red y comenzar a enfriarse, tenderá a condensarse. Este fenómeno ocurrirá hasta que la temperatura del aire comprimido se iguale con la ambiental. En ese momento, el aire comprimido seguirá saturado pero no condensará más.

3.8.5.4.1. ¿ QUE EFECTOS PRODUCE EL CONDENSADO DE AGUA ?

El condensado es una emulsión tóxica, corrosiva y ácida. Esto genera aumento de rugosidad en las paredes internas de la tubería y por lo tanto, caídas de presión, formación de partículas sólidas y rotura prematura de la red.

Por otro lado, al introducirse en las juntas o roscas la abre creando fugas.

Por último, al llegar a la maquinaria neumática o ponerse en contacto con el producto puede arruinarlos completamente.

3.8.5.4.2. MÉTODOS PARA CONTROLAR EL CONDENSADO DE AGUA

El mejor de todos es eliminarlo desde el principio, es decir, colocar justo a la salida del compresor una serie de enfriadores y/o secadores que bajen el punto de rocío del aire comprimido al menos hasta la temperatura ambiente.

Existen casos en que sólo se dispone de un postenfriador y un tanque, los cuales suelen bajar la temperatura del aire comprimido hasta unos 10°C sobre el ambiental y eliminar aproximadamente un 88% del condensado. El resto pasará a la red. Por lo tanto, dicha red debe ser diseñada de forma tal que se haga todo lo posible para evitar que el condensado llegue al punto final de consumo. Son comunes las inclinaciones de tuberías, de manera que el condensado se dirija por gravedad y empujado por el flujo de aire hacia trampas colocadas estratégicamente en la red, con una separación aproximadamente de 30 mts.

Las líneas de servicio son conectadas a las principales por arriba de éstas, de manera que el condensado no pueda fluir hacia el punto de consumo. Y en este punto se debe colocar una trampa o filtro de condensado. En la figura siguiente se puede observar gráficamente lo antes dicho.

este punto se debe colocar una trampa o filtro de condensado. En la figura siguiente se puede observar gráficamente lo antes dicho.

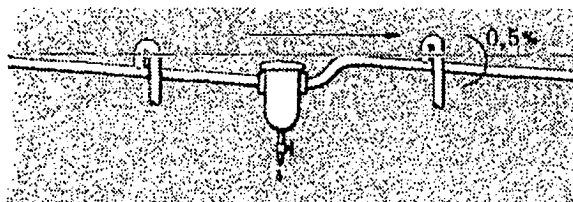


fig.3.46.

3.9. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

3.9.1. DISEÑO DEL SISTEMA.

Para diseñar correctamente un sistema de aire comprimido es necesario responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué capacidad de aire se requiere?
2. ¿Qué calidad?
3. ¿Qué tipo de compresor se necesita?
4. ¿Cuál es el diseño óptimo del Sistema de distribución de aire?
5. ¿Qué dimensiones son requeridas?
6. ¿Qué accesorios de línea se necesitan?

3.9.1.1. CAPACIDAD DE AIRE REQUERIDA.

Lo primero es hacer una investigación para averiguar cuanto aire será consumido.

La capacidad total está basada en un conocimiento exacto de los requerimientos.

Una subestimación resultaría en una presión de trabajo inadecuada con ningún margen para expansiones futuras.

Una sobre estimación, por otro lado, significa una inversión innecesaria. La capacidad de aire se determina por:

Presión de aire.

Volumen de aire.

3.9.1.1.1. Presión de aire

La mayoría de los equipos neumáticos con excepción de aplicaciones especiales como instrumentos de control, operan a 6 bar.

Como en la generalidad de los casos la presión de salida de los compresores es de 7 bar, hay que considerar las caídas de presión en la línea para poder obtener una presión de 6 bar en los puntos de consumo.

Sin embargo, debe prestarse una atención especial cuando hay secadoras y filtros extras en la línea.

Debe examinarse entonces si el mínimo de 6 bar se obtiene en los puntos de consumo. En caso contrario sólo se pueden hacer dos cosas:

- Subir la presión de la salida del compresor.
- Aceptar un funcionamiento de las herramientas por debajo de su capacidad

Demandas especiales de 6 bar, pueden cubrirse usando reguladores de presión.

Demandas por más de 6 bar, pueden ser económicamente satisfechas instalando pequeños compresores de alta presión o en alguno de los casos con ayuda de intensificadores de presión.

En ciertas aplicaciones, como por ejemplo talleres de reparación de tractores y camiones, se requieren presiones de hasta 14 bar para las mismas.

En estos casos se usan dos redes: una alimentada por un compresor de 7 bar y la otra por un compresor de alta presión.

3.9.1.1.2. Volumen de aire

Para conocer cuantos l/s serán consumidos, es necesario sumar el consumo total de aire en cada punto.

El resultado es la Máxima Carga teórica.

Para obtener la carga real, la carga teórica se multiplica por un factor de uso y por un factor de simultaneidad.

Factor de Uso. Es el porcentaje de tiempo que el equipo está en operación respecto al tiempo total de trabajo.

El factor de expansión. es el crecimiento que tendrá el proceso dentro de una industria en un período determinado, no mayor a 5 años. Si la expansión no es conocida con seguridad, se deberán considerar 3 años con 10 a 15% por año.

Margen de fugas. Un sistema correctamente diseñado e instalado tiene normalmente fugas entre 5-10% de la capacidad instalada.

La experiencia indica sin embargo que sólo donde se realiza un buen mantenimiento, las fugas se mantienen en un 5%. Negligencia o poco mantenimiento pueden significar fugas de hasta de un 30%. Un margen de 15% debe considerarse por fugas.

Conclusión:

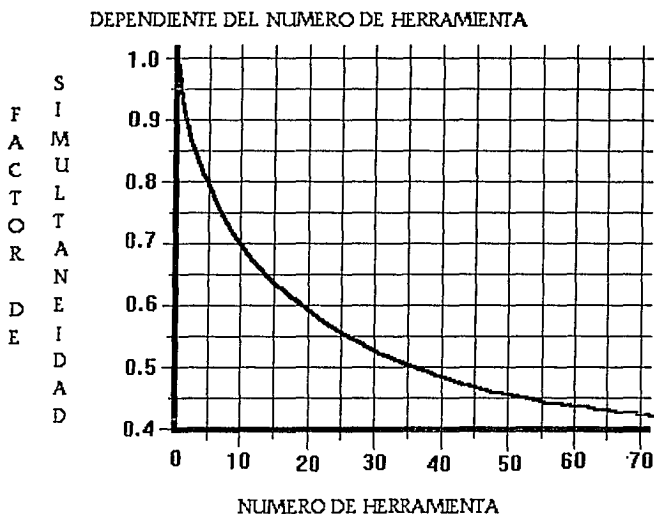
Si $Q_{teórica}$ es la suma de todos los consumos, entonces:

$$Q_{real} = Q_{teórica} \cdot \text{factor de uso} \cdot \text{factor de simultaneidad y}$$

$$Q_{total} = Q_{real} \cdot \text{factor de expansión} \cdot \text{factor de fugas.}$$

Si un sistema requiere un Q_{total} y se decide instalar dos compresores, entonces el primero debe cubrir los requerimientos principales y el segundo los picos.

FACTOR DE SIMULTANEIDAD



gráfica 3.2.

3.9.1.2. CALIDAD DE AIRE REQUERIDA.

La calidad de aire comprimido se refiere a:

- . contenido de humedad.
- . Contenido de aceite.
- . Contenido de partículas sólidas.

Es importante señalar que antes de escoger un compresor, es necesario tener conocimiento completo de la calidad de aire requerido. Por ejemplo es muy común que se requiera una muy buena calidad para algunas secciones u operaciones mientras que para el resto, una calidad media es suficiente.

3.9.1.3. TIPO DE COMPRESOR REQUERIDO

Una vez que los requerimientos de aire, presión y calidad son conocidos, la escogencia del compresor puede ser hecha.

Esto implica considerar los siguientes aspectos:

- * Tipo de compresor
 - Libre de aceite, inyección de aceite.
 - Pistón, tornillo.
 - Desplazamiento positivo, dinámicos
- * Capacidad y presión
 - Q. Total
 - División entre carga entre más de un compresor.
 - Capacidad de reserva
 - Consumo específico de energía
 - Requerimientos especiales
 - Planes futuros.
- * Regulación del compresor
- * Ubicación del compresor.

3.9.1.4. DISEÑO OPTIMIZADO DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN DE AIRE

En este punto ya tenemos toda la información requerida para el trazado de la tubería para el aire de toda la planta. Conociendo donde está la mayor concentración de puntos de consumo, es posible determinar la mejor ruta.

Un sistema cerrado es una forma apropiada de trazado. En muchos casos, combinaciones de anillos pueden ser la mejor alternativa pues hay una mejor distribución de la presión y cualquier consumo alto y repentino podrá suplirse desde dos direcciones.

En otros casos una línea directa es suficiente.

El propósito de un sistema de aire comprimido es el de suministrar aire a cada punto de consumo de acuerdo a sus demandas en cuanto a:

- Presión de aire.
- Flujo de aire.
- Calidad de aire.

Estos requerimientos deberán satisfacerse al menor costo posible.

Existen cuatro componentes en una red de aire comprimido :

1. La línea principal
2. La línea de distribución
3. La línea de servicio
4. Accesorios de línea.

En este punto del diseño del sistema de aire comprimido, ya se debe haber tomado una decisión en cuanto al uso de secadora.

Consideraciones de diseño de la red de aire cuando no se utiliza secadora.

- * Tanto la línea principal como la de distribución deberán tener una pendiente de 1:2000 y se deberán colocar más puntos bajo, trampas de agua.
- * Las líneas de servicio deberán conectarse en la parte superior de las líneas de distribución para dificultar el paso del agua condensada a los puntos de consumo.

Si se ha decidido utilizar una secadora, se simplificará la instalación de las tuberías.

- * La línea principal y de distribución podrán montarse horizontalmente.
- * Las trampas de agua en la línea no serán necesarios.
- * Las líneas de servicio, podrán ser conectadas por la parte inferior de las líneas de distribución.

Al diseñar la línea principal en grandes sistemas de distribución con varias áreas de consumo, estas deberán poderse cerrar sin afectar el funcionamiento del resto de la red.

Con esta sencilla consideración práctica, se consiguen varias ventajas:

- * Al hacer cualquier trabajo de mantenimiento solo el área de consumo en cuestión quedará sin aire.
- * Las fugas podrán minimizarse al cerrar el paso de aire hacia aquellas zonas que no estén trabajando.
- * Las fugas pueden ubicarse fácilmente.
- * Es posible medir el consumo en distintas etapas.
- * Es posible, en caso de falla de la parte del sistema de compresión de aire, suplir únicamente las áreas importantes.

Materiales de las tuberías.

- Acero.
- Acero inoxidable.
- Cobre.
- Plástico.

Caídas de presión permisibles.

Antes de determinar las dimensiones de la tubería es necesario conocer cuales son los niveles de caída de presión aceptables en cada una de las

partes de la red, lo cual fue mencionado anteriormente en este mismo capítulo.

Debe recordar considerar puntos donde hay requerimientos especiales en cuanto a calidad de aire que deben necesitar instalaciones locales de secadoras.

Una vez que el trazado de la línea principal esté definido, las líneas auxiliares y de servicio pueden determinarse.

El principio más importante debe ser el seguir la ruta más corta que cubra los mayores puntos de consumo y siga la simetría general con la menor caída de presión

3.9.1.5. DIMENSIONES DEL SISTEMA.

Después de determinar la capacidad de aire, la calidad y el trazado de la tubería, es posible determinar las dimensiones de las distintas tuberías.

3.9.1.6. SELECCIÓN DE LOS ACCESORIOS DE LINEA

Por accesorios de línea entendemos válvulas, reguladores, filtros, secadoras, mangueras, acoples, trampas de agua, lubricadores y conexiones de tuberías.

Debido a que los accesorios de línea, distribuyen, guían y tratan el aire comprimido, tiene una gran influencia en el funcionamiento global del sistema.

Para la elección de los accesorios es necesario conocer, de sus respectivos fabricantes, las caídas de presión que ellos provocan para distintos caudales.

Conociendo los requerimientos en los puntos de consumo, los accesorios requeridos quedan completamente determinados.

CAPITULO 4
AHORRO ENERGÉTICO

AHORRO ENERGÉTICO

En lo que se refiere al estudio de ahorro de energía, vemos que dicho estudio se puede dividir en dos puntos, los cuales son: La recuperación de calor y La disminución del número de fugas en la tubería.

1. - RECUPERACIÓN DE CALOR
2. - FUGAS DE AIRE EN LA RED.

4.1 RECUPERACIÓN DE CALOR

La conservación de la energía en estos momentos es no solo un imperativo moral, sino también económico. La recuperación y reciclaje de la energía consumida es una de las mejores formas de mantener unos márgenes rentable en este campo de malestar económico. La recuperación de energía de los compresores es una forma ideal de poner en práctica de la conservación y recuperación de la energía.

En esta sección, veremos las observaciones fundamentales que le puedan ayudar en un diseño eficiente, operativo y rentable del sistema de recuperación de calor para su instalación de aire comprimido.

Puesto que el sub-producto natural de la compresión del aire es el calor, la energía se puede recuperar en forma de aire caliente o agua proveniente del sistema de refrigeración del compresor. Al convertirse en calor la energía empleada en el compresor, su recuperación puede significar un ahorro de energía importante.

La recuperación de calor de compresión ha de considerarse siempre que se estudie una nueva instalación y debe ser un elemento importante a discutir con el proveedor y una característica fundamental para la decisión en una comparación de ofertas.

La recuperación del calor resultado de la compresión constituye una operación interesante desde el punto de vista energético. En la figura 4.1 se incluye el diagrama de Sankey correspondiente a un compresor. Se puede ver que el 100% de la energía eléctrica o mecánica que absorbe el compresor, solamente un 4% se asocia en forma de energía térmica al aire comprimido, esto pasa, de una forma u otra, al ambiente. Se puede observar en el diagrama de Sankey que la mayor parte de la energía se pierde con el fluido refrigerante, en las etapas de refrigeración intermedia y post-refrigeración. A este 96% se podría sumar las pérdidas en el motor eléctrico de asociamiento.

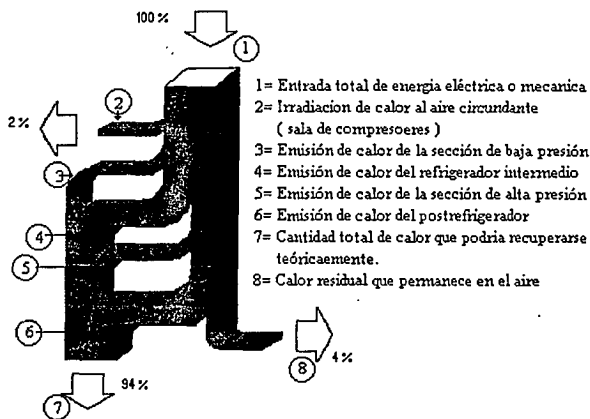


fig 4.1

Como los tipos de refrigeración empleados en el área de aire comprimido son, solo por medio de aire y agua, esto quiere decir, que solo tendremos dos formas de recuperación de calor, las cuales son:

1. -RECUPERACIÓN DE CALOR CUANDO SE EMPLEA AGUA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO
2. -RECUPERACIÓN DE CALOR CUANDO SE EMPLEA AIRE COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO
3. -PUNTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR

4.1.1. RECUPERACIÓN DE CALOR CUANDO SE EMPLEA AGUA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO

Cuando se emplea el método de recuperación de calor por agua, a lo que nos referimos en realidad es, a los " COMPRESORES REFRIGERADOS POR AGUA " .

Los compresores refrigerados por agua tienen en general incluso mayores posibilidades para acoplarse a un programa de recuperación de calor, debido a la mayor capacidad del agua para contener calor. El agua caliente del compresor, a temperaturas de hasta 95°C, puede transportarse fácilmente a puntos alejados con pequeñas pérdidas, y allí emplearse en numerosos procesos industriales.

Las aplicaciones dependerán de las necesidades de energía térmica de la instalación, su distancia a los puntos de aplicación y la forma de trabajo de los compresores, y por consiguiente, de las características de tiempo y

calidad de la generación de energía térmica a aprovechar. Cada caso deberá analizarse individualmente para diseñar el sistema de aplicación más ventajoso.

En esencia el sistema de recuperación es el mismo que cuando la refrigeración es por aire. La diferencia estriba en que el fluido es el que porta el calor. En este caso se puede tomar el calor del agua por medio de un intercambiador y cedérselo al aire de ventilación, o bien aprovechar directamente el agua para usos sanitarios o para calefacción.

4.1.2. RECUPERACIÓN DE CALOR CUANDO SE EMPLEA AIRE COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO

Cuando se emplea el método de recuperación de calor por aire, a lo que nos referimos en realidad es, a los " COMPRESORES REFRIGERADOS POR AIRE ".

Para el caso de compresores refrigerados por aire, encontramos que existen dos tipos de compresores:

1. - Los Convencionales
2. - Los Compactos

4.1.2.1. LOS CONVENCIONALES

El aire de refrigeración se envía por un conducto a la zona de utilización. Por otro lado, si se quiere aprovechar el calor para calefacción de locales se coloca un ventilador cuya aspiración este situado próxima al cuerpo del compresor. De esta forma el ventilador aspira aire caliente, el cual se mezcla en el conducto de salida del aire de refrigeración con este, enviándolo conjuntamente a utilización.

4.1.2.1. LOS COMPACTOS

En este caso, el aire de refrigeración que sale del compresor, con temperatura de hasta 50 - 60 °C, puede ser utilizado de distintas formas con el fin de aprovechar el calor que arrastra.

La utilización más frecuente de este aire de refrigeración caliente es en sistemas de calefacción y acondicionamiento ambiental, aunque puede aprovecharse de muy diversas formas.

El método más fácil de recuperación de calor en una instalación de aire comprimido refrigerada por aire consiste en la inclusión de un ventilador, mediante el cual se envía el aire a su área de utilización; hay que prever la posibilidad de tirar a la atmósfera el aire caliente sobrante. A pesar de que la demanda sea temporal, esta sencilla instalación tiene una amortización muy aceptable.

El aprovechamiento de calor contenido en el puede hacerse en forma directa (figura 4.2) o indirecta (figura 4.3) mediante intercambiadores de calor aire-agua.

En la figura 4.2, si la temperatura en la planta compresora cae por debajo del valor fijado en el termostato T1, los canales de aire controlado por T1 son regulados de tal forma que una parte de aire calentado es conducido de nuevo al espacio del compresor. El termostato T2, que reacciona a la temperatura del espacio a calentar, regula tanto el canal de aireación como de salida de aire.

En la figura 4.3, Este esquema muestra igualmente la recuperación de calor en un compresor refrigerado por aire. La forma de funcionamiento difiere de la mostrada en la figura 4.2, en que el aire caliente es conducido a través de una batería llena de una mezcla de agua-glicol, que se calienta. La mezcla agua-glicol es bombeada continuamente a otra batería, donde el calor sirve, por ejemplo, para el precalentamiento del sistema general de circulación de aire. Cuando no hay necesidad de calor, este es liberado con el aire de salida del compresor.

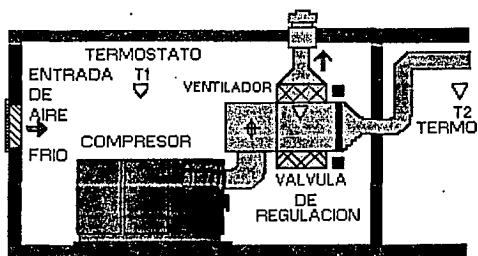


fig. 4.2

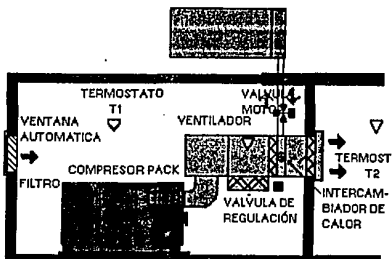


fig. 4.2

4.1.3. PUNTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR.

- 1) LIMITACIONES
- 2) APLICACIONES DEL AIRE / AGUA EN LA INDUSTRIA
- 3) OTROS FACTORES QUE HAY QUE TENER EN CUENTA

4.1.3.1. LIMITACIONES

¿ CUALES SON LAS PRINCIPALES LIMITACIONES DE LA RECUPERACIÓN DE CALOR ?

Las principales limitantes para la recuperación de calor son:

- 1.- LA DISPONIBILIDAD
- 2.- LA TEMPERATURA
- 3.- ¿ COMO PUEDEN SOLVENTARSE ESTAS LIMITACIONES ?

4.1.3.1.1. LA DISPONIBILIDAD

Los sistemas de recuperación de calor del aire comprimido no siempre dan el calor cuando hace falta y en las cantidades necesarias. Si el compresor pasa frecuentemente de trabajar a plena carga a trabajar en vacío, la cantidad de calor recuperado variará.

4.1.3.1.2. LA TEMPERATURA

La cantidad de calor producido por un compresores considerable. Si este calor es absorbido por una gran cantidad de agua e refrigeración, se disipa de forma que la temperatura permanecerá relativamente baja. En este caso es posible que el calor disponible no sea suficiente para un aprovechamiento directo.

4.1.3.1.3. ¿ COMO PUEDEN SOLVENTARSE ESTAS LIMITACIONES ?

Estas limitaciones no son un problema, ya que el calor del compresor es mejor si se emplea como una fuente auxiliar de energía en vez de como una fuente primaria, de forma que el calor se utilice siempre que el compresor este funcionando.

En los compresores refrigerados por aire que producen un gran volumen con bajo gradiente de calor, el empleo de una soplante puede reducir la carga a los calentadores eléctricos. En los tipos refrigerados por agua, el agua del compresor (hasta 95 C) puede añadirse a una corriente de agua caliente empleada para procesos industriales. Si el agua caliente se va a emplear en duchas, el agua recuperada de los compresores puede reducir la carga de la caldera con el consiguiente ahorro de combustible e incluso reducción del tamaño de la caldera.

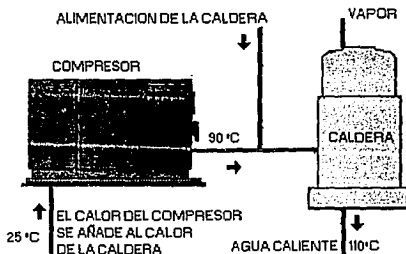


fig. 4.4

4.1.3.2. APLICACIONES DEL AIRE / AGUA EN LA INDUSTRIA

Algunas aplicaciones industriales del agua y aire caliente son:

- 1) AGUA CALIENTE
- 2) AIRE CALIENTE

4.1.3.2.1. AGUA CALIENTE

- 1) Fines sanitarios (duchas y baños).
- 2) Calentamiento de locales (radiadores de agua caliente, intercambiadores de calor agua-aire).
- 3) Alimentación de generadores de vapor con agua precalentada.
- 4) Agua de lavado industrial.
- 5) Complementar calentadores de agua.

4.1.3.2.2. AIRE CALIENTE

- 1) Espacio a calentar sencillo (el aire caliente se conduce directamente del compresor a los locales cercanos a calentar).
- 2) Espacio a calentar ampliado (El aire caliente calienta agua a través de un intercambiador de calor, agua que se transporta a continuación por medio de tuberías a los lejanos locales a calentar.
- 3) Aire de alimentación de calderas.
- 4) Calor para secado de cámaras, secado de túneles en el moldeo de plásticos, pintado y niquelado.

4.1.3.3. FACTORES QUE HAY QUE TENER EN CUENTA

Los siguientes factores también afecta al diseño, rendimiento y amortización del sistema de recuperación de calor:

- 1) Relación entre la temperatura de salida y de entrada.
- 2) La humedad del aire caliente empleado para la recuperación de calor.
- 3) El volumen del aire o agua caliente disponible en el compresor por unidad de tiempo.

- 4) La diferencia de temperatura entre la entrada y la salida.
- 5) ¿Cuanto tiempo trabaja a plena carga el compresor cada día ?.
- 6) El consumo de energía del compresor y el precio de la energía en relación con el costo del sistema de recuperación de energía.

4.2. FUGAS DE AIRE EN LA RED.

Dado que el objetivo principal de una planta de compresores es suministrar aire comprimido, es notable que cualquier pérdida de cualquier cantidad de este aire motiva una disminución del rendimiento del sistema. Como para comprimir aire se necesita consumir energía, al perder aire comprimido por fugas y escapes lo que se pierde en realidad es energía, el costo que representa el aire perdido puede llegar a ser considerable.

Las pérdidas por fugas varían, desde un 5 - 10 % en instalaciones bien mantenidas, hasta en un 30 % o incluso un 50 % en instalaciones descuidadas.

El servicio de aire comprimido es comparativamente caro, y por los usuarios que desconocen el aspecto económico del tema se inclinan a pensar que debido a que viven rodeados del aire que respiran y debido a que no es peligroso, es invisible y no puede dañar a nadie, las fugas pueden despreciarse si no son de gran importancia.

Si el aire comprimido escapa del sistema, la presión en las herramientas y procesos disminuirá, o el compresor tendrá que trabajar más tiempo para compensar esta pérdida, por lo cual, desde un principio no se debe permitir ninguna fuga detectada.

Los costos provenientes de las fugas aumentan con el consumo de aire. De compensar las fugas, mediante el aumento de la presión de descarga del compresor, incrementara aun más los costos.

Generalmente todas las redes de aire comprimido comienzan a presentar fugas luego de un tiempo de funcionamiento. Normalmente se emplea un 5% de la capacidad del compresión para compensar éstas. En caso de haber fugas por arriba de este porcentaje, se debe revisar minuciosamente la red.

A continuación presentamos una tabla de como afecta el tamaño del orificio de la fuga con respecto a la presión de trabajo a la cantidad de aire, potencia que se desperdicia, lo cual, repercutirá en lo económico.

presión de trabajo en (bar)	POTENCIA NECESARIA PARA SU COMPRESION (KW)						
	0.1	0.3	1.6	3.1	8.3	33	41
	DIAMETRO DEL AGUJERO						
	0.5 mm	1 mm	2 mm	3 mm	5 mm	10 mm	12.5 mm
0.5	0.06	0.22	0.92	2.1	5.7	22.8	35.5
1.0	0.08	0.33	1.33	3.0	8.4	33.6	52.5
2.5	0.14	0.58	2.33	5.5	14.6	58.6	91.4
5.0	0.25	0.97	3.92	8.8	24.4	97.5	152.0
7.0	0.33	1.31	5.19	11.6	32.5	129.0	202.0
	FUGA DE AIRE EN #s						

tabla 4.1 .

Cuando los costos de energía son elevados puede ser rentable el tener un mínimo de pérdidas, aun a expensas de un aumento de los costos de mantenimiento.

El costo de reacondicionamiento de instalaciones antiguas para reducir las fugas, es muy pequeño en comparación con la posible ganancia económica, es decir, se tendrían mayores ganancias en un futuro próximo si se reacondicionará la instalación, que si se trabajara con las mismas condiciones antiguas, las cuales, en un período de tiempo pequeño tendría un gasto económico mayor que si fueran reacondicionadas.

En la mayoría de los casos, las fugas son debidas más, a un defectuoso mantenimiento que a un mal diseño, y si la pérdida de potencia se apreciara en su verdadera cuantía, se comprobaría que las inversiones en la mejora del sellado de fugas puede ser recuperada rápidamente con los ahorros de energía conseguidos.

Los puntos de fugas más frecuentes son:

1. - Válvulas de seguridad de los depósitos acumuladores.
2. - Juntas de tuberías y mangueras.
3. - Válvulas de corte (que hacen mal cierre).
4. - Enchufes rápidos.
5. - Herramientas neumáticas.
6. - Equipos.
7. - Y algunas veces en el tanque receptor.

Para determinar las causas de las fugas, existen cuatro puntos muy importantes a verificar :

1. - ¿ Es satisfactorio el mantenimiento de la red ?
2. - ¿ Son los accesorios, las mangueras, las válvulas o las uniones rápidas, de baja calidad ?
3. - ¿ Hay líneas subterráneas que no pueden ser inspeccionadas ?
4. - ¿ La red fue bien soldada, hay juntas con fugas ?

4.2.1.¿ COMO PODEMOS DETECTAR LAS FUGAS DE AIRE ?

En pequeñas redes son fácilmente detectables al oírlas o sentirlas. Los lugares donde se presume la fuga, pueden ser pulverizados o pincelados con líquidos para la detección de fugas.

En redes grandes, puede ser de gran ayuda aparatos ultrasónicos para la detección de las fugas.

CAPITULO 5
DESARROLLO Y CARACTERÍSTICAS DE
SECOM

5. DESARROLLO Y CARACTERÍSTICAS DE SECOM

La aplicación de la técnica de Sistemas Expertos en el sector energético se basa principalmente en el ahorro de energía de algún proceso, en los cuales se puede referir:

- 1- Donde los conocimientos complejos en una área estrechamente delimitada y no existan teorías completas o algoritmos elaborados.
- 2- Existencia de un número reducido de expertos en un área determinada del conocimiento.
- 3- Minimización del consumo de energía, ventilación, aire acondicionado y control de pérdida de calor.
- 4- Mantenimiento preventivo.
- 5- Recuperación de energía.

5.1. ALCANCE DE LA APLICACIÓN.

El Sistema Experto desarrollado, brinda ayuda tendiente a lograr que el compresor y su sistema de distribución operen de la manera óptima. El programa analiza tanto un sistema nuevo de generación y distribución de aire, como un sistema ya instalado. En el primer caso se darán las condiciones necesarias para que su funcionamiento sea favorable; en el segundo caso se hará un análisis energético, el cual dirá si el funcionamiento actual del compresor es adecuado, sino es así, el sistema brindará las recomendaciones para mejorar su uso. También brinda información al usuario para el mantenimiento adecuado del compresor, red de distribución y accesorios; así como también una introducción detallada a la teoría del aire comprimido y a los sistemas de aire comprimido.

El sistema experto (SECOM) tiene una aplicación en las pequeña y mediana industria como son:

- Industria Cementera
- Industria Química, Farmacéutica y Pinturas.
- Industria Vidriera
- Industria Metalurgia y Siderurgia.
- Industria de Alimentos y Bebidas.
- Industria Textil.
- Industria del plástico.
- Servicio médicos.
- Talleres en general, etc.

5.2. ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO.

Las empresas que han brindado información para el conocimiento del desarrollo del Sistema Experto son ATLAS COPCO y CHICAGO de los cuales se obtuvieron manuales, folletos y entrevistas con los expertos de cada una de sus áreas.

Investigación en bibliotecas: BIBLIOTECA DE POSGRADO DE INGENIERÍA, BIBLIOTECA CENTRAL DE LA U.N.A.M., BIBLIOTECA DEL EDIFICIO PRINCIPAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

5.3 HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

La principal herramienta es un Shell orientado a objetos para el desarrollo de sistemas expertos el cual es LEVEL 5.

La decisión de este shell depende, inicialmente, de las herramientas que se utilizan y de los factores con la facilidad para crear interface con el usuario o con la posibilidad de comunicarse con otros tipos de aplicaciones, etc..

LEVEL 5 OBJECT resultó ser adecuado para la realización del sistema por tener las siguientes características:

- 1-Sistema híbrido. LEVEL 5 OBJECT es lo que se le conoce como un sistema híbrido, es decir, que puede manejar tanto objetos como reglas y funciones. De este modo el conocimiento puede ser conducido de manera muy similar a como es manejado por un ser humano.
- 2-Interfaz gráfica altamente desarrollada. No es muy necesario el uso del teclado, es decir, la mayoría de la programación se puede realizar por medio del mouse.
- 3-Capacidad de manejar la información de manera no secuencial y de acuerdo al nivel de conocimiento y los requerimientos del usuario (hipertextos e hiperregiones) .
- 4-La capacidad de interactuar con programas externos (bases de datos, hojas de cálculo y con programas ejecutables) .

5.4. ESTRUCTURA DE SECOC.

La estructura del sistema experto comprende cuatro componentes o módulos básicos. De ellos los que están relacionados directamente con el análisis y ahorro energético, los cuales son los módulos 1 y 2.

El módulo tres contienen información que sirve de apoyo y ayuda al usuario para el mantenimiento de un compresor, secadoras, redes de distribución y accesorios, es decir, proporciona una ayuda de mantenimiento de todo el sistema de aire comprimido.

El módulo cuatro y último, contiene toda la información introductoria a los sistemas de aire comprimido, partiendo desde como está compuesto el aire, los métodos de compresión del mismo, hasta los diferentes tipos de compresores que existen y como funciona un sistema de aire comprimido en forma real.

Módulo 1.- Análisis de una nueva instalación de un sistema de aire comprimido (compresor, sistema de distribución, accesorios y métodos de ahorro de energía).

- 1.1.- Se recaba información sobre las características ambientales, como son: altura en relación a nivel del mar, temperatura, humedad relativa, presión barométrica, tamaños de partículas volátiles en el medio ambiente, etc..
- 1.2.- Se obtiene información acerca de cual es la aplicación y los procesos en los cuales va a ser empleado el aire comprimido, para:
 - Obtener información sobre el caudal y la calidad de aire que se requieren en los puntos del sistema; es decir, en cada proceso donde es utilizado el aire compreso.
- 1.3.- Se despliegan resultados sobre la capacidad necesaria del compresor, considerando los aspectos geográficos y climáticos de la zona en donde se realizará la instalación. También se proporciona información sobre el sistema de secado a emplearse (si este es necesario), dimensiones del tanque receptor y formas de instalación del mismo, prefiltros y eliminadoras de bacterias; de acuerdo a la aplicación (tipo de industria) en donde se utilizará. Muestra a su vez diagramas de como podrían ser la instalación del compresor-secadora-tanque.
- 1.4. Se despliegan las recomendaciones que deben tomarse en cuenta para la instalación del Sistema de Compresores de Aire, es decir, toda la información que hay que reunir antes de iniciar una instalación, como podría ser: ubicación de la sala de compresores (caja de fuerza), características de la sala de compresores, etc..
- 1.5. Otro tipo de información que el sistema puede proporcionar es acerca de los diferentes métodos de enfriamiento de las unidades compresoras, secadoras y otras que radiarán calor a la sala de compresores (calor radiado por el motor, arrancador, etc.).
- 1.6. También el sistema proporciona información preliminar al estudio del trazo de la red de aire comprimido sobre los diferentes tipos de redes que existen y sus formas de construcción, así como también, las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

- 1.7.- Otro punto muy importante es la ayuda que proporciona el sistema, en cuanto al cálculo de las dimensiones internas de la red a partir del estudio de las longitudes de cada una de las líneas de la red, sus presiones de trabajo a las cuales estarán sometidas, del caudal de aire que tendrá cada una de ellas, de los accesorios de línea que se piensan utilizar y de las caídas de presión permisibles dependiendo del tipo de línea sobre la cual se este realizando el cálculo.
- 1.8.- Se despliegan las recomendaciones más adecuadas que se pueden utilizar para el ahorro de energía, vemos que dicho estudio se puede dividir en dos puntos: La Recuperación de Calor y la disminución del número de fugas en las tuberías.

Módulo 2.- Análisis de energía de un sistema de aire comprimido ya establecida (compresores, sistema de distribución y sus accesorios).

- 2.1.- Recopilación de información sobre características del medio ambiente, ubicación, etc., es decir, altura, temperatura, humedad relativa, presión barométrica, etc.
- 2.2.- Recopilación e información sobre características del compresor (tipo, capacidad, aplicación en el que se emplea, etc.), accesorios de línea, dimensiones de la red de distribución de aire comprimido.
- 2.3.- Se da como resultado un análisis energético de la información obtenida por el sistema experto, con las posibles mejoras de cambio, tanto de la unidades compresores de aire, secadoras, así como también del sistema de distribución de aire comprimido y por consiguiente se tendrá un ahorro energético.

Módulo 3. Mantenimiento del compresor, sistema de distribución y accesorios.

En este punto se trata de que el usuario obtenga de SECOM un mantenimiento preventivo tanto en la compresora como en el sistema de distribución y accesorios.

SECOM da información sobre el mantenimiento adecuado, que se lleva acabo para cada tipo de compresor, así como en su sistema de distribución (interna y externa) y accesorios.

Módulo 4. Introducción a la teoría del aire comprimido, compresores, secadoras de aire comprimido, sistema de distribución y accesorios.

En este módulo, el sistema proporciona información introductoria a la teoría del aire comprimido, partiendo desde las características y propiedades del aire, una explicación sobre que es el aire comprimido para que sirve y cual es su ventaja con respecto a otros medio de energía que se aplican como el aire comprimido, métodos de compresión del aire, una simulación del proceso de compresión efectuada por un compresor de pistón, los diferentes tipos de compresores que existen, así como las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, hasta la explicación visual y animada de un sistema de aire comprimido básico.

5.5. PROGRAMAS DE ENLACE

En cada uno de los módulos descritos, se contempló que SECOM accese bases de datos diseñadas en DBASE III+, a fin de recuperar características técnicas de cada componente de las instalaciones de aire comprimido. Además llama a diversos archivos gráficos de ayuda para la presentación de información al usuario.

Se diseñó un programa convertidor de unidades en Visual Basic.

5.6. COMUNICACIÓN CON EL USUARIO.

El sistema experto pide información al usuario a través de pantallas de captura, las cuales pueden ser grupos de botones, pantallas de despliegue o pantallas gráficas. Para introducir esta información se puede usar el teclado y/o el mouse. Para brindar información, el sistema emplea pantallas de despliegue y pantallas gráficas.

5.7. REQUERIMIENTOS.

- Computadora PC 80386 en adelante
- Disco duro 40Mbytes
- 8Mbytes en RAM mínimo
- Windows 3.0 en adelante
- Level 5 ver 2.5
- Mouse
- Espacio en disco duro para el sistema de 15Mbytes mínimo

5.8. OPERACIÓN DEL SECOM: SISTEMA EXPERTO DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE COMPRESORES DE AIRE Y SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO.

Como ya se menciono anteriormente el SECOM esta estructurado por cuatro módulos, los cuales son:

Módulo 1. Análisis de una nueva instalación de un sistema de aire comprimido (compresor, sistema de distribución, accesorios y métodos de ahorro de energía).

Módulo 2.- Análisis de energía de un sistema de aire comprimido ya establecida (compresores, sistema de distribución y sus accesorios).

Módulo 3. Mantenimiento del compresor, sistema de distribución y accesorios.

Módulo 4. Introducción a la teoría del aire comprimido (compresor, sistema de distribución y accesorios).

Para el llamado o ejecución de cada uno de estos módulos el sistema experto presenta un menú general, al cual llamaremos MENÚ PRINCIPAL, el cual, se muestra a continuación.

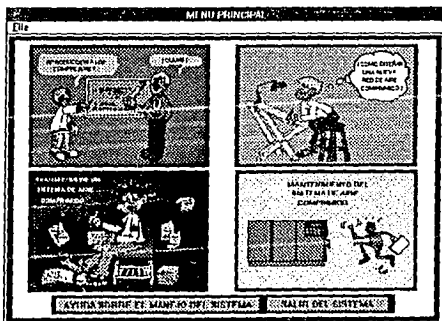


fig.5.1.

5.8.1. Módulo 1. Análisis de una nueva instalación de un sistema de aire comprimido (compresor, sistema de distribución, accesorios y métodos de ahorro de energía).

En esta parte, el sistema experto presenta un menú de seis opciones; al menú lo hemos llamado "MENÚ DE LA NUEVA INSTALACIÓN", y las opciones son(ver figura):

- 1) ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE COMPRESORES, SECADORAS Y TANQUES RECIBIDORES.
- 2) RECOMENDACIONES NECESARIAS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESORES DE AIRE.
- 3) RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ENFRIAMIENTO A UTILIZAR
- 4) RECOMENDACIONES PRELIMINARES A LOS ESTUDIOS Y CÁLCULOS DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.
- 5) DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.
- 6) AHORRO DE ENERGÍA.

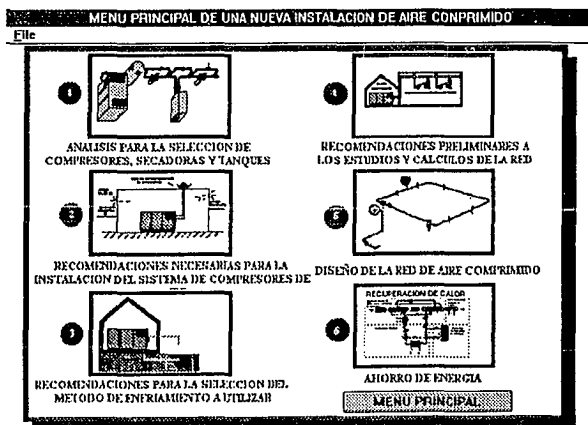


fig.5.2.

ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE COMPRESORES, SECADORAS Y TANQUES RECIBIDORES:

En lo referente a este punto del programa, lo que se busca es la mejor opción de selección tanto del compresor (ya sea este de pistón, aleta, tornillo ó centrifugos) como de los accesorios tales como: Secadoras (ya sean de adsorción, absorción o de refrigeración), tanques recibidores, prefiltros y dispositivos eliminadores de bacterias (Si es que lo requiere el proceso en el que se va a utilizar el aire comprimido).

Primeramente el sistema mostrará una serie de pantallas en donde le indicará al usuario que se iniciará la limpieza de las bases de datos utilizadas para el análisis de la aplicación. Posteriormente presenta una sección de captura de las características ambientales en donde será implementada la nueva empresa, y la información solicitada es (ver figura):

1. La altura en relación al nivel del mar (en metros).
2. La máxima y mínima presión barométrica absoluta (bar).
3. La máxima y mínima temperatura ambiente
4. El tamaño máximo y mínimo de las partículas volátiles.
- 5.- La humedad relativa en porcentaje.

El sistema muestra una pantalla de captura de datos con el título "CAPTURAR DATOS" y "CAPTURA DE INFORMACION".

Característica Ambiental	Valor
■ ALTURA EN RELACION AL NIVEL DEL MAR (m)	[Campo de texto]
■ MÁXIMA PRESIÓN BAROMÉTRICA ABSOLUTA (bar)	[Campo de texto]
■ MÍNIMA PRESIÓN BAROMÉTRICA ABSOLUTA (bar)	[Campo de texto]
■ MÁXIMA TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	[Campo de texto]
■ MÍNIMA TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	[Campo de texto]
■ TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS VOLÁTILES (µm)	[Campo de texto]
■ TAMAÑO MÍNIMO DE PARTÍCULAS VOLÁTILES (µm)	[Campo de texto]
■ HUMEDAD RELATIVA (%)	[Campo de texto]

Botones de control: CAPTURAR DATOS, CONTINUAR, EXI.

fig.5.3

Después de recopilar la información anterior el sistema pasa a otra sección la cual es llamada " **CAPTURA DE CONSUMO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO** ", en dicha sección el sistema busca conocer el tipo de industria, para la cual se utilizará o empleará el aire comprimido, la pantalla en la cual, se solicita el tipo de industria en la siguiente:

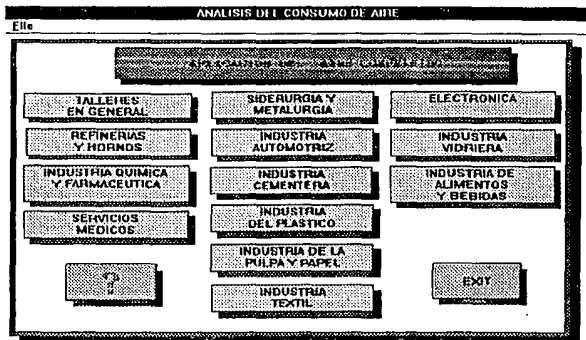


fig.5.4.

Después de definir el tipo de industria, el sistema presenta una clasificación de procesos exentos de aceite, procesos no exentos de aceite y una opción de uso de herramientas neumáticas.

En lo referente a los procesos exentos y no exentos de aceite el usuario debe seleccionar los procesos que utilizará su aplicación uno a uno. Ver figura.

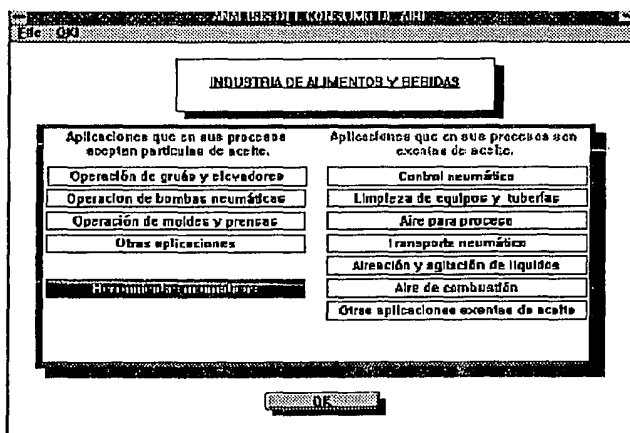


fig.5.5.

Al seleccionar el proceso ya sea este exento de aceite o no exento aceite, el sistema experto presenta una pantalla de captura de información acerca del proceso seleccionado, la información solicitada por el sistema es temperatura de secado del aire comprimido (punto de rocío), caudal (l/s), presión de trabajo del proceso (bar), factor de expansión y factor de uso, así como en algunos casos tamaño de la partícula permisible en el proceso (micras). Esta información es guardada en una base de datos, la cual será analizada por el sistema posteriormente. Ver figura.

ANÁLISIS DEL CONSUMO DE AIRE

File: D:\...

AIRE PARA PROCESOS

AIRE PARA PROCESOS

TEMPERATURA DE SECADO DEL AIRE:	0	°C
CAUDAL:	0	l/s
PRESION DE TRABAJO:	0	bar
FACTOR DE EXPANSION:	0	
FACTOR DE USO:	0	
TAMANO MAXIMO PERMISIBLE DE LA PARTICULA EN ESTE PROCESO:	0	micras

fig.5.6.

Al finalizar la tarea de captura para el consumo de aire comprimido, se inicia el primer análisis de nuestra aplicación. En donde el sistema clasifica primeramente los consumos de aire comprimido en aire exento de aceite, en segundo caso el aire no exento de aceite y en tercer caso el aire para herramientas neumáticas, dándonos también la cantidad total de aire comprimido que requiere la aplicación.

Para el primero caso, el sistema suma las cantidades de aire utilizadas por los procesos exentos de aceite, a su vez para el segundo caso en forma independiente de la anterior, suma las cantidades de aire utilizadas por los procesos no exentos de aceite; Dichas cantidades de aire no son, tal como se las dimos al sistema, ya que este antes de guardar la información en la base de datos considera el factor de uso y el factor de expansión, los cuales son considerados para un futuro crecimiento en los requerimientos de aire comprimido en la industria de nuestra aplicación.

La forma en la que el sistema considera el factor de expansión y el factor de uso, es simplemente multiplicando el caudal (consumo de aire) del procesos por el factor de expansión y por el factor de uso que le haya indicado el usuario para dicho proceso.

Para el tercer caso, el sistema suma las cantidades de aire requeridas por las diversas herramientas neumáticas; cantidades de aire que el sistema considera por separado, en donde la suma del aire no es tan sencilla como las dos formas anteriores, ya que para este caso, se tiene que checar primero que tipo de herramienta es, el número de las mismas, cual es la cantidad de aire que requiere para su perfecto funcionamiento cada una de ellas, el factor de uso, el factor de expansión y el factor de simultaneidad (este factor de simultaneidad se da cuando se emplean varias herramientas neumáticas iguales). Todo lo anterior se analiza por separado para cada tipo iguales de herramientas, y es por ello que es un poco compleja la clasificación de la información dada al sistema.

La ventaja que nos da este sistema experto, es que ya no tenemos que ver todo lo anterior, si no que solamente el usuario se concentrará a dar la información correcta al sistema experto, para que este tenga que analizar todo lo necesario.

En este primer análisis, el sistema realiza a su vez otra clasificación, la cual, es mostrada en una pantalla subsecuente. En dicha pantalla se muestra una tabla de información clasificada por el número de procesos de temperatura de secado, tanto para procesos que requieren aire comprimido exento y no exento de aceite. Esta información le sirve al usuario principalmente para determinar que tipo de secadoras de aire debe de implementar en su aplicación. Esta clasificación es similar para los casos uno y dos antes mencionados, con la única diferencia que el sistema considera la temperatura de secado de cada uno de los procesos.

La otra información que nos proporciona dicha tabla, es una clasificación de acuerdo al número de procesos y su tamaño de partículas sólidas permisibles, con esta información se conoce que tipo de prefiltro de aire deben de instalársele al(os) compresor(es) implementado(s). Esta clasificación es similar para los casos uno y dos(procesos exentos y no exentos) antes mencionados, con la única diferencia que el sistema considera el tamaño de las partículas sólidas permisibles en cada uno de los procesos. A continuación se presenta a la segunda pantalla de información, la cual, es de mucha utilidad para el análisis del nuevo sistema de aire comprimido.

DETALLE DE LOS CALCULOS SIN CABLEJOS			
	Nº DE PROCESOS	TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA (°F)
NUMERO DE PROCESOS DE TEMPERATURA DE SECADO ENTRE -40 Y -10 °C (ABSOLUCION) :	0	0	0
NUMERO DE PROCESOS DE TEMPERATURA DE SECADO ENTRE 0 Y 1 °C (ABSOLUCION) :	0	0	0
NUMERO DE PROCESOS DE TEMPERATURA DE SECADO ENTRE 2 Y 5 °C (CENTIGRADOS) :	0	0	0
NUMERO DE PROCESOS CUYO TAMAÑO DE PARTICULA ESTA ENTRE LAS 0 Y 1 MICRAS :	0	0	0
NUMERO DE PROCESOS CUYO TAMAÑO DE PARTICULA ESTA ENTRE LAS 0.1 Y 1 MICRAS :	0	0	0
NUMERO DE PROCESOS CUYO TAMAÑO DE PARTICULA ESTA ENTRE LAS 1 Y 5 MICRAS :	0	0	0
NUMERO DE PROCESOS CUYO TAMAÑO DE PARTICULA ESTA ENTRE LAS 5 Y 100 MICRAS :	0	0	0

fig. 5.7.

En esta tabla como se podrá ver (cuando se este corriendo una aplicación), el sistema considerará un bar extra o un bar de más; este bar adicional de presión de trabajo se considera, ya que para el diseño de una nueva instalación también se deben de considerar las caídas de presión en la red de distribución de aire comprimido, cuya suma total permisible de caídas de presión en la red por lógica es de un bar.

En esta primer pantalla también encontramos tres botones de opción, los cuales son:

- 1) MENÚ
- 2) ANÁLISIS DE PROCESOS EXENTOS
- 3) ANÁLISIS DE PROCESOS LUBRICADOS

En donde la opción MENÚ nos lleva a un menú de 6 opciones las cuales son:

- 1) TABLA DE PRESIONES
- 2) ANÁLISIS DE PROCESOS EXENTOS
- 3) ANÁLISIS DE PROCESOS LUBRICADOS
- 4) RECOMENDACIÓN DE COMPRESORES Y ACCESORIOS PARA LOS PROCESOS EXENTOS
- 5) RECOMENDACIÓN DE COMPRESORES Y ACCESORIOS PARA LOS PROCESOS LUBRICADOS
- 6) SALIR

Los botones de ANÁLISIS DE PROCESOS EXENTOS Y LUBRICADOS (1 y 2), nos llevan cada a una pantalla en donde se nos muestra una tabla de clasificación de presiones como la mostrada en la figura siguiente.

SEA PACIENTE LOS CALCULOS SON COMPLEJOS

ANÁLISIS DE PRESIÓN PARA LOS PROCESOS EXENTOS DE ACEITE		
	MAXIMA PRESION EN [bar]	CAUDAL MAXIMA EN [l/s]
PRESION < 3.0	0	0
3.0 > PRESION <= 10	9	1071.60
10 > PRESION <= 13	0	0
13 > PRESION <= 20	0	0
20 > PRESION <= 30	21	14.42

MENÚ ANÁLISIS DE PROCESOS LUBRICADOS
 RECOMENDACION DE COMPRESORES Y ACCESORIOS PARA LOS PROCESOS EXENTOS

fig.5.9.

Como se puede ver claramente, el sistema realiza una clasificación de las presiones de trabajo en cinco tipos, las cuales dependen de los rangos de presión siguientes y que son mostrados en la figura anterior:

PRESIÓN < 3.8
3.8 >= PRESIÓN <= 10
10 > PRESIÓN <= 13
13 > PRESIÓN <= 20
20 > PRESIÓN <= 30

Estos rangos de presión, fueron obtenidos con la ayuda de las empresas de compresores ATLAS COPCO Y CHICAGO; dichos rangos de presión sirven para la toma de decisiones en cuanto al mejor tipo de compresor a utilizar, considerando a su vez el caudal del tipo de presión.

También en estas pantallas se presentan tres botones de opción los cuales son:

- 1) MENÚ
- 2) ANÁLISIS DE PROCESOS EXENTOS / LUBRICADOS (según sea el caso)
- 3) RECOMENDACIÓN DE COMPRESORES Y ACCESORIOS PARA LOS PROCESOS EXENTOS / LUBRICADOS (según sea el caso)

Los botones de RECOMENDACIÓN DE COMPRESORES Y ACCESORIOS PARA LOS PROCESOS EXENTOS / LUBRICADOS llevan cada a una pantalla en donde se nos muestra una solución al problema dado; esta pantalla es como la siguiente:

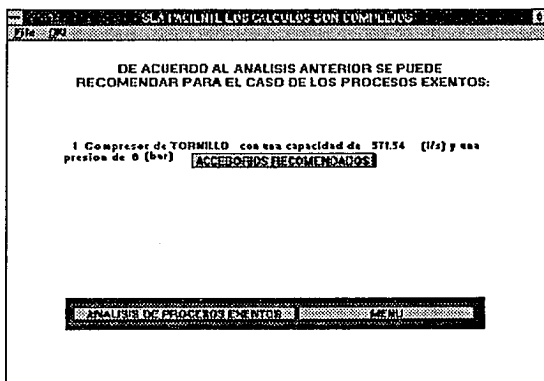


fig.5.10.

como se puede ver en la figura anterior, el sistema nos dice el tipo y número de compresores, así como las características de los mismos, es decir, la capacidad, la presión del compresor, si es exento o lubricado. A su vez en cada una de las soluciones, nos muestra un botón el cual dice "ACCESORIOS RECOMENDADOS", este botón nos lleva a otra pantalla de información más detallada, como la mostrada a continuación.

SEVA FACILITA LOS CALCULOS CON UN MILLEJOS

INFORMACION SOBRE LOS TIPOS ACCESORIOS RECOMENDADOS A UTILIZAR

Para este compresor de **B** [bar] de presión y capacidad de **571.54** [l/s] se le recomiendan de acuerdo a la información capturada:

- 1.- Un prefiltro el cual debe tener la propiedad de dejar pasar solamente partículas entre las 1 a 5 micras
- 2.-

	0	[l/s]
	0	[l/s]
Una secadora de REFRIGERACION con una capacidad nominal	571.54	[l/s]
- 3.- Dimensiones del tanque receptor
- 4.- Se debe instalar una ELIMINADORA DE BACTERIAS

ACCESORIOS RECOMENDADOS

fig.5.11.

en esta pantalla se nos muestra para cada solución (todas las soluciones al problema mostradas forman parte de una sola solución general, es decir, que nuestro problema requiere de una o varias redes de aire a la vez) las características de la red, por ejemplo: el tipo de compresor (ya sea de tornillo, pistón, centrifugo, etc.) y el número de ellos, la capacidad, el tipo de prefiltro que debe de tener esa red, los tipos de secadoras, así como el número de ellas y sus capacidades (a su carga óptima o nominal), si esa red requiere eliminadores de bacterias lo especifica.

La demanda de aire comprimido para el caso de las herramientas neumáticas lo específica como un punto importante e independiente del consumo total de la red o redes de aire comprimido, también nos presenta hipertextos para el caso, en el cual, queremos conocer las dimensiones del o los tanques recibidores (para esa solución).

Cuando seleccionamos el hipertexto "dimensiones de los tanques", el sistema nos lleva a una pantalla como la de la figura siguiente,

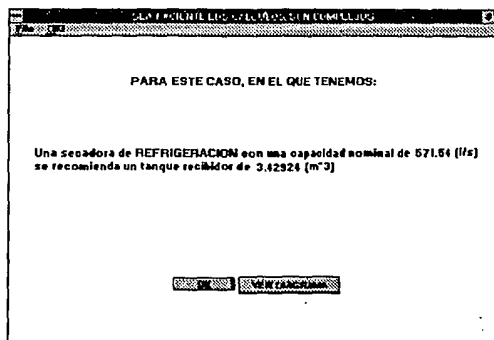


fig.5.12.

en la cual, se nos presentan las soluciones de dimensión del tanque, estas se obtienen en base a una formula y en base al arreglo del compresor-tanque-secadora. En esta pantalla (como la mostrada en la figura anterior) se nos presenta dos botones, uno de ellos es OK, el cual nos lleva a la pantalla anterior, o sea, de la pantalla que mando llamar a esta, y el otro botón es el de VER DIAGRAMA, este botón nos lleva a su vez a otra pantalla, como la mostrada a continuación,

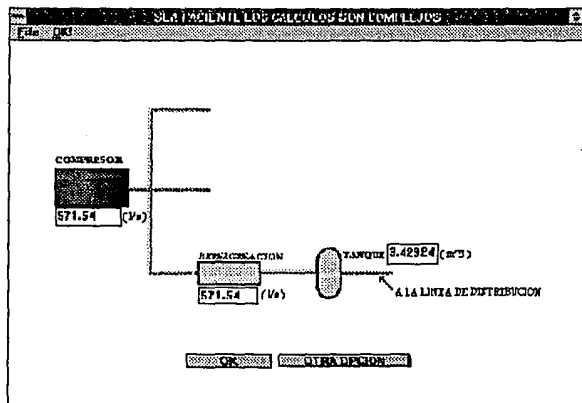


fig.5.13.

esta pantalla, nos presenta en forma esquemática como debe de ir armado nuestro sistema, dándonos a su vez, las capacidades de cada uno de los elementos presentados y recomendados por el sistema, según la mejor solución al problema. Como en la pantalla mostrada en la figura anterior, esta presenta también dos botones, uno que dice OK, que nos lleva a la pantalla anterior, y otro que dice " OTRA OPCIÓN " este nos muestra otra solución en forma esquemática, del arreglo compresor-tanque-secadora. Presentando esta pantalla también como ya es común un botón que dice OK el cual nos lleva a la pantalla anterior.

En el menú como ya se dijo antes, también se encuentra la opción "SALIR", esta nos guía a una pantalla, en la cual se pregunta hacia donde se quiere ir, es decir, se nos presentan tres opciones:

- 1) ¿ DESEAS IRTE A LA SESIÓN DE RECOMENDACIONES NECESARIAS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESORES DE AIRE ?, Esta parte del sistema actúa como un shell, es decir, una ayuda teórica, la cual nos orienta en base a la solución ya dada por el sistema, acerca de como y donde se deben de implementar o instalar los compresores de aire en la empresa.
- 2) ¿ DESEAS IRTE AL MENÚ PRINCIPAL ?, esta nos lleva al menú de la nueva instalación
- 3) PANTALLA ANTERIOR , nos regresa a la pantalla anterior

Con esto se concluye la sección referente a " ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE COMPRESORES, SECADORAS Y TANQUES RECIBIDORES ".

NOTA:

Como el usuario podrá ver, esta parte del sistema le ayuda a su vez a evaluar, si su sistema de aire comprimido ya implementado será la mejor solución o no a su problema. Aanalizándolo como si fuera una nueva instalación.

RECOMENDACIONES NECESARIAS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESORES DE AIRE.

Esta parte del sistema actúa como un shell, es decir una ayuda teórica, la cual nos orienta en base a la solución ya dada por el sistema, acerca de como y donde se deben de implementar o instalar los compresores de aire en la empresa.

En lo referente al análisis para la instalación del sistema de compresores de aire, el sistema experto ve cuatro puntos muy importantes :

- 1.- **INSTALACIÓN CENTRALIZADA O DESCENTRALIZADA**
- 2.- **CANTIDAD DE UNIDADES COMPRESORAS**
- 3.- **LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA**

4.- CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA COMPRESORA

Y UN BOTÓN DE "OK".

En el punto de "INSTALACIÓN CENTRALIZADA O DESCENTRALIZADA", el sistema nos ayuda a decidir (está ayuda es en forma de tutorial o shell) si en la planta compresora debe de haber una sola estación de compresión, o varias estaciones satélite situadas cerca de los puntos de consumo.

En el punto de "CANTIDAD DE UNIDADES COMPRESORAS", el sistema nos da una orientación del número de unidades compresoras de aire a instalar, considerando los factores tales como la cantidad de capital a invertir inicialmente, el tipo de industria, el consumo y factores técnico propios del equipo.

En el punto de "LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA COMPRESORA", el sistema proporciona una serie de puntos, los cuales, se deben de considerar antes de decidir en donde se construirá y/o localizará la sala de compresores.

El ultimo punto que trata este módulo es el referente a las "CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA COMPRESORA", este da información acerca de las características que debe cumplir el sistema de aire comprimido. Los puntos que considera el sistema experto son:

- A) **EL LOCAL.** Nos da mención de las características que debe de cumplir el local o sala de compresores, tales como: espacio que debe de haber entre cada una de las unidades empleadas (para el mejor manejo, servicio y mantenimiento), altura del local, tamaño de las puertas de acceso, los servicios de electricidad y agua, así como también de como deben de estar instaladas las tuberías que transportan el aire comprimido, etc..

- B) **LAS BASES DE LOS COMPRESORES.** Nos da información de las características que deben de cumplir las bases, en las cuales serán montada las unidades compresoras, dependiendo del tipo de compresor (o sea, si se trata de una unidad equipada o austera).

- C) **LOS SISTEMAS AUXILIARES.** Sólo nos menciona quienes son y para que sirven.

- D) **LA VENTILACIÓN.** En lo referente al estudio y análisis de la ventilación, el sistema experto hace una división de ésta en dos tipos:
 - 1.- **VENTILACIÓN DE LA SALA DE COMPRESORES:** Nos dice los puntos y características importantes que debe de cumplir el aire destinado para la ventilación de la sala de compresores, así, como la importancia de la calidad de dicho aire.
 - 2.- **VENTILACIÓN DE AIRE PARA LA ENTRADA DEL COMPRESOR:** Nos dice los puntos y características importantes que debe de cumplir el aire destinado a ser comprimido por las unidades compresoras, así, como la importancia que tiene su buena calidad en los diversos procesos.

- E) **EL EQUIPO ELÉCTRICO Y DE CONTROL.** En lo referente al equipo eléctrico y de control, el sistema experto nos da información acerca de:

- 1.- EL MOTOR ELÉCTRICO.
- 2.- EL ARRANCADOR DEL MOTOR ELÉCTRICO.
- 3.- EL CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGA Y DESCARGA.
- 4.- CONTROL DE PRESIÓN.
- 5.- Y CONTROL DE TEMPERATURA.

En cada uno de estos puntos, el sistema experto solamente nos da una breve introducción en forma de shell, acerca de que son, que función realizan, sus características de operación y funcionamiento.

Todos los botones de " OK ", a excepción del botón que se presenta en la primer pantalla nos conducen siempre a la pantalla menú anterior, de la cual fue llamada la pantalla en la que nos encontremos. El botón de " OK " de la pantalla principal, Ver figura.

TELAS NECESARIAS PARA LA INSTALACION DEL SISTEMA DE COMPRESORES DE AIRE

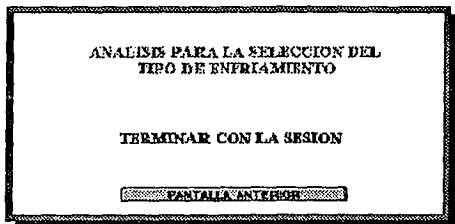


fig. 5.14.

nos conduce a una pequeña pantalla la cual nos indica, la terminación de este módulo de información y ayuda para " LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESORES DE AIRE ". A su vez nos pregunta si queremos:

- 1) EL ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE ENFRIAMIENTO. Esta parte del sistema actúa como un shell, es decir, una ayuda teórica, la cual nos orienta en base a la solución ya dada por el sistema, acerca de los métodos de enfriamiento de las unidades compresoras de aire que existen, que tipos de equipos se tienen hoy en día para realizar tal enfriamiento de las unidades compresoras de aire y con que calidades, así, como el

funcionamiento de cada uno de estos métodos y sus ventajas de cada uno de ellos, en relación a los otros (en cuanto a funcionamiento, características y disposición del equipo).

- 2) **TERMINAR CON LA SESIÓN.** Con esta opción el sistema nos regresa al menú de la nueva instalación
- 3) **PANTALLA ANTERIOR.** Nos lleva a la pantalla anterior, de la cual se llamo la pantalla actual.

RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ENFRIAMIENTO A UTILIZAR

Esta parte del sistema actúa como un shell, es decir, una ayuda teórica, la cual nos orienta en base a la solución ya dada por el sistema, acerca de los métodos de enfriamiento de las unidades compresoras de aire que existen, qué tipos de equipos se tienen hoy en día para realizar el enfriamiento de las unidades compresoras de aire y con qué calidades, así, como el funcionamiento de cada uno de estos métodos y sus ventajas de cada uno de ellos, en relación a los otros (en cuanto a funcionamiento, características y disposición del equipo).

El sistema inicia primero con una breve introducción. Después de la breve introducción, el sistema nos indica que existen dos métodos de enfriamiento, los cuales son:

1.- Enfriamiento por aire

2.- Enfriamiento por agua

Si se selecciona " Enfriamiento por aire ", nos da información, de cual es la función de este método, que tipos de alternativas de instalación existen y sus ventajas de cada uno de ellos.

Si por otra razón se selecciona " Enfriamiento por agua ", así como en el caso anterior, el sistema proporciona información, de cual es la función de este método, que tipos de alternativas de instalación existen y sus ventajas de cada una de ellas. Lo anterior es proporcionado indicando primeramente que existen dos puntos importantes a considerar, y ellos son:

1. - **CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.** En lo referente a la calidad del agua de enfriamiento de las unidades compresoras y enfriadoras, el sistema nos explica la importancia que tiene la buena calidad del agua de enfriamiento, así, como de los requisitos que debe de cumplir esta.
2. - **TIPO DE CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO.** Cuando se selecciona esta opción, el propio sistema nos lleva a otra pantalla, en donde se nos presentan los diversos métodos y alternativas de instalación. En cada una de estas opciones, el sistema da toda la información que se tiene acerca del método seleccionado y de las ventajas del mismo. La siguiente figura muestra un ejemplo de como el sistema proporciona la información de cada uno de los circuitos de enfriamiento.

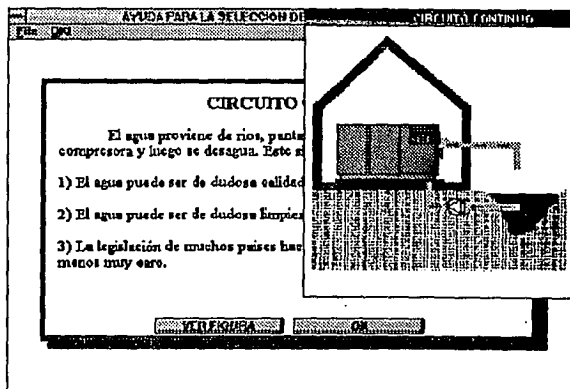


fig.5.15.

Todos los botones de " OK ", a excepción del botón que se presenta en la primer pantalla nos conducen siempre a la pantalla anterior de la cual fue llamada la pantalla en la que nos encontremos. El botón de " OK " de la pantalla principal nos conduce a una pequeña pantalla, la cual nos indica, la terminación de este módulo de información y ayuda llamado " RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ENFRIAMIENTO A UTILIZAR ". A su vez nos pregunta si queremos:

- 1) **EL ANÁLISIS PRELIMINAR PARA EL DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.** En esta parte del sistema, se nos da la información, como un shell, es decir una ayuda teórica, la cual, nos orienta acerca de los tipos de instalación de redes de aire comprimido que existen y que se deben de considerar en el diseño de una red de aire comprimido.
- 2) **TERMINAR CON LA SESIÓN.** Con esta opción el sistema nos regresa al menú de la nueva instalación
- 3) **PANTALLA ANTERIOR.** Nos lleva a la pantalla anterior, de la cual se llamo la pantalla actual.

ANÁLISIS PRELIMINAR PARA EL DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

En esta parte del sistema, se nos da información, en forma de shell, es decir, una ayuda teórica, la cual nos orienta acerca de los tipos de instalaciones de redes de aire comprimido que existen y que se deben de considerar en el diseño de una red de aire comprimido, así, como sus formas correctas de instalación. A su vez muestra los problemas que existen en las redes de aire comprimido y sus formas de solución.

Los dos tipos de redes de aire comprimido, que el sistema experto maneja, son:

1.- REDES INTERNAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

2.- REDES EXTERNAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

y estas son presentadas en una pantalla como la siguiente

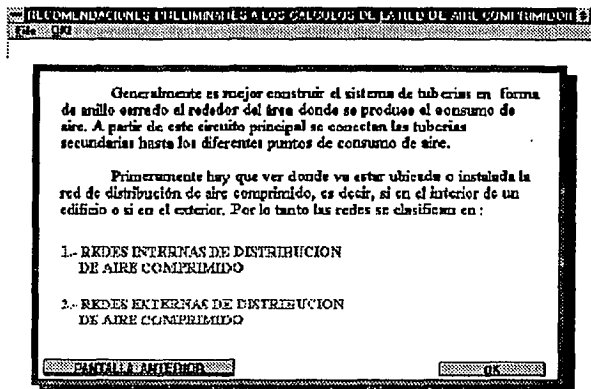


fig.5.16.

En lo referente a una " RED INTERNA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO ", el sistema nos muestra que existen dos casos básicos de redes internas:

- a) Por el suelo, en zanjas, con ramales secundarios.
- b) Suspensas de las paredes o del techo.

Para ambos casos, se presentan las ventajas y desventajas de cada una, así como una explicación esquemática, sobre la forma estructural de las instalaciones de redes internas.

También en una " RED EXTERNA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO ", el sistema nos muestra que existen, así como en el caso de las redes internas, dos casos básicos de redes externas:

- a) Por el suelo, en zanjas, con ramales secundarios:
- b) Suspensas de postes.

Así, igualmente como en las redes internas, en las redes externas, se presentan las ventajas y desventajas de cada una, así como una explicación

esquemática, sobre la forma estructural de las instalaciones de redes externas.

Los problemas de redes internas y externas que maneja el sistema experto y que los presenta en una pantalla que aparece al presionar el botón de OK son:

1.- EL PROBLEMA DEL ACEITE.

2.- EL PROBLEMA DEL CONDENSADO.

En ambos puntos, se tratan los problemas, efectos y métodos para controlar el condensado de aceite/agua en las redes de aire comprimido, según sea el caso.

Todos los botones de " OK ", a excepción del botón que se presenta en la pantalla de problemas de redes de aire comprimido (botón que acabamos de mencionar), nos conducen siempre a la pantalla anterior de la cual fue llamada la pantalla en la que nos encontremos. El botón de " OK " de la pantalla de problemas de redes de aire comprimido, nos conduce a una pequeña pantalla, como la mostrada a continuación.

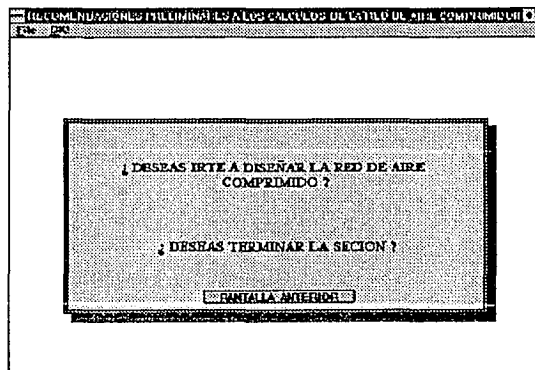


fig.5.17.

en donde, como podremos ver, las opciones de que se presentan y que muestran el final de esta sección son:

- 1) **DISEÑAR LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.** En esta parte del sistema, se realiza el cálculo de las dimensiones internas de la red de aire comprimido, dichos cálculos varían de acuerdo al tipo de línea de la red que se vaya a diseñar, así como de los accesorios de línea que se utilizan en ella. Los tipos de líneas de red que el sistema maneja son: La Línea Principal, La Línea de Distribución y La Línea de Servicio
- 2) **TERMINAR CON LA SESIÓN.** Con esta opción el sistema nos regresa al menú de la nueva instalación
- 3) **PANTALLA ANTERIOR.** Nos lleva a la pantalla anterior, de la cual se llamó la pantalla actual.

DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO.

El sistema inicia este módulo con una pequeña introducción a la estructura de las redes de aire comprimido. Indicándonos que están compuestas por tres tipos de líneas: las líneas principales, las líneas de distribución y las líneas de servicio. Lo anterior se ve mas claramente en la siguiente ilustración, la cual, forma parte de una de las pantalla del sistema

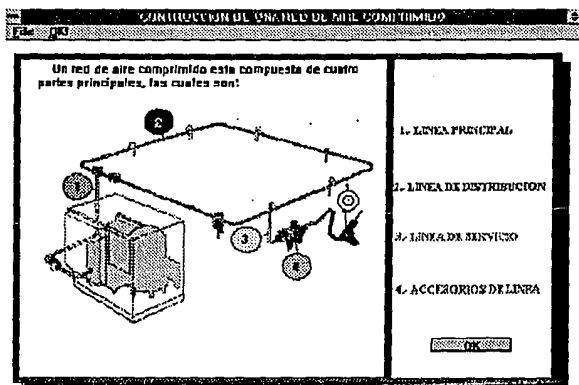


fig.5.18.

Las líneas principal y de distribución tienen una caída de presión permisible de 0.07 bar, mientras que las líneas de servicio su caída de presión permisible es de 0.03 bar y una longitud no mayor a 5 metros. Es por ello que los sistemas de red de aire comprimido para su diseño se dividen en estos tres tipos de líneas.

Después de determinar la capacidad de aire, la calidad y el trazo de la tubería, es posible determinar las dimensiones internas de las distintas líneas del sistema de distribución de aire comprimido.

La forma en la que el sistema experto calcula estas dimensiones para cada tipo de tubería o líneas, es solicitando los valores del: CAUDAL (l/s), LONGITUD DE LA TUBERÍA SIN ACCESORIOS O SEGMENTOS (metros), PRESIÓN DE TRABAJO A LA CUAL ESTARÁ SOMETIDA LA RED DE AIRE (bar) como se muestra en la siguiente figura.

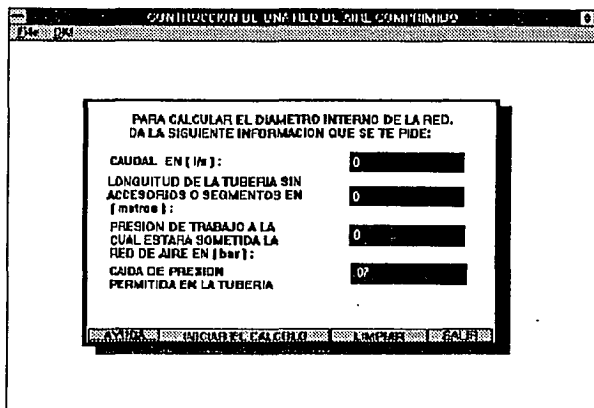


fig.5.19.

Después, de que se le ha dado al sistema experto la información anterior, este nos pide en otra pantalla subsecuente el tipo y número de accesorios que se van a emplear en dicha línea, la pantalla mostrada por el sistema experto es la siguiente.



fig.5.20.

El sistema inicia el cálculo del diámetro interno agregándole a la longitud de la tubería dada por el usuario un 50% más de esta y empleado la formula:

$$d = \left(\frac{1.6E8 \times q^{1.85} \times L}{\Delta p \times p} \right)^{1/5}$$

donde:

- d: es el diámetro interno (mm)
- q: es el carga de aire comprimido (m³/s)
- L: es la longitud de la tubería (m)
- p: es la presión de trabajo (bar)
- Δp: es la caída de presión en la línea (bar)

Después de realizar esta operación, el sistema obtiene un diámetro interno con el cual, se calcula en forma cíclica la caída de presión adecuada para el tipo de línea que se este diseñando, empleando la formula:

$$\Delta p = \left(\frac{1.6E8 \times q^{1.85} \times L}{d^5 \times p} \right)$$

Cuando el sistema experto obtiene la caída de presión permisible para el tipo de línea que se esta diseñando, este termina el proceso y le da a los usuarios, los resultados y recomendaciones necesarias en una pantalla de resultados, como la mostrada a continuación.

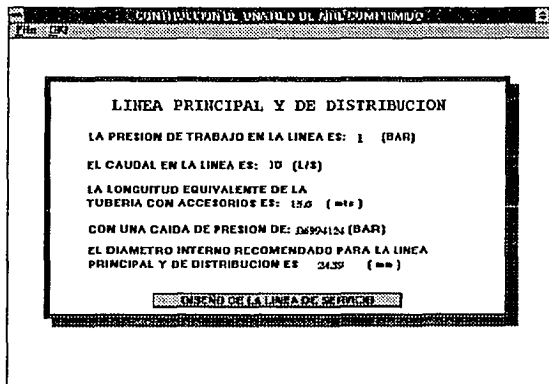


fig.5.21.

En esta misma pantalla, dependiendo del tipo de línea que se este diseñando (principal y de distribución), el sistema le indica al usuario que se irá a diseñar la línea de servicio, si es que se encuentra diseñando la línea principal y de servicio, como se muestra en la siguiente figura:

CONSTRUCCION DEL UNIDAD DE AIRE COMPARTIDO

PARA CALCULAR EL DIAMETRO INTERNO DE LA RED,
DA LA SIGUIENTE INFORMACION QUE SE LE PIDE:

CAUDAL EN [Vs]:

LONGITUD DE LA TUBERIA [metros]:

CAIDA DE PRESION PERMIDA EN LA TUBERIA EN (bar):

PRESION DE TRABAJO A LA CUAL ESTARA SOMETIDA LA RED DE AIRE (bar):

fig.5.22.

Así el sistema dará un despliegue de resultados de tamaño del diámetro de la tubería, presión de trabajo y longitud equivalente de la tubería con accesorios.

También el sistema, en el cálculo de líneas de servicio nos da dos opciones:

a) **DISEÑAR OTRA LINEA DE SERVICIO.** Con esta opción el sistema nos lleva a la pantalla de diseño de otra línea de servicio. Este proceso u opción de diseño de líneas de servicio se repite tantas veces como el usuario lo desee.

b) **SALIR.** Con esta opción el sistema envía al usuario a otra pantalla en la cual, se le pregunta:

1.- ¿ DESEA DISEÑAR OTRA RED U OTRA LINEA PRINCIPAL Y DE DISTRIBUCIÓN, CON SUS RESPECTIVAS LINEAS DE SERVICIO ?. Si el usuario toma esta decisión el sistema

lo lleva a diseñar otra red de aire, independiente de la antes diseñada.

2.- ¿ DESEA TERMINAR CON LA SESIÓN DE DISEÑO DE LA RED ?. Con esta opción el sistema termina la sesión de diseño de la red y envía al usuario al menú de la

nueva instalación.

AHORRO DE ENERGÍA.

En esta sección lo que se realizará principalmente son, recomendaciones de como obtener el mejor aprovechamiento del aire/agua que se utiliza para enfriar los equipos utilizados como son: compresores y secadoras. Así como lo que se debe checar en caso de fugas, y como solucionar y detectar estas.

Después de haber realizado el estudio, análisis y clasificación del tipo de industria, en la cual se va a enfocar la aplicación, de los procesos que se realizarán, de los consumos de aire comprimido que se requieren en cada uno de los procesos, de haber obtenido la mejor solución en cuanto a decisión de selección e implementación del tipo y número de compresores que se requieren, del tipo y número de secadoras de aire y tanques recibidores, de la disposición o posibles arreglos que podrían tener estos, Así, como también, de haber obtenido la mejor decisión en cuanto al tipo de enfriamiento que se utilizará en su industria, se puede iniciar el módulo de " AHORRO DE ENERGÍA ", para poder ayudar al usuario a decidir las mejores opciones de recuperación de calor que se pueden implementar en la instalación del sistema de aire comprimido.

En lo que se refiere al estudio de ahorro de energía, el sistema presenta dos opciones de estudio, los cuales son:

- 1.- RECUPERACIÓN DE CALOR.
- 2.- FUGAS DE AIRE EN LA RED.

En la opción de RECUPERACIÓN DE CALOR, el sistema inicia con una breve introducción a los sistemas de recuperación de calor, es decir, qué tipos de calores son los que se pueden recuperar y en qué porcentajes. Posteriormente el sistema nos presenta tres puntos de estudio, y estos son:

- 1) **RECUPERACIÓN DE CALOR CUANDO SE EMPLEA AGUA COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO.** En este punto se dan las mejores opciones de recuperación de calor cuando se emplea agua como medio de enfriamiento, es decir, de que forma se puede recuperar (reutilizar), en qué aplicaciones y procesos se puede utilizar y qué tipos de intercambiadores de calor existen para estos procesos y cuales son los mejores a utilizar. También nos presenta los problemas que existen en las tuberías cuando estas son utilizadas para transportar el agua caliente.
- 2) **RECUPERACIÓN DE CALOR CUANDO SE EMPLEA AIRE COMO MEDIO DE ENFRIAMIENTO.** En este punto, así como en el anterior se dan las mejores opciones de recuperación de calor cuando se emplea aire como medio de enfriamiento, es decir, de que forma se puede recuperar(reutilizar), en que aplicaciones y procesos se puede utilizar y que tipos de intercambiadores de calor se pueden utilizar.
- 3) **PUNTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR.** En este punto, el sistema muestra otros subpuntos importantes, así como lo dos anteriores que hay que considerar en la recuperación de calor, los cuales son:

a) LIMITACIONES.

Este nos muestra las limitantes que existen cuando se emplea aire/agua como medio de enfriamiento en los equipos compresores y enfriadores de aire. Cuando se selecciona esta opción el sistema presenta dos limitantes y método de solución:

1.- LA DISPONIBILIDAD

2.- LA TEMPERATURA

3.- ¿ COMO PUEDEN SOLVENTARSE ESTAS LIMITACIONES ?

b) APLICACIONES DEL AIRE / AGUA EN LA INDUSTRIA.

Este nos muestra las aplicaciones mas comunes que existen en las industrias en cuanto a la utilización del aire o el agua caliente.

c) OTROS FACTORES QUE HAY QUE TENER EN CUENTA.

A su vez, como en los dos casos anteriores el sistema muestra información de todos o de casi todos los factores adicionales que hay que tomar en cuenta, para la toma de decisiones en cuanto a que método de recuperación es el mejor a emplear en el sistema de aire comprimido.

En la opción de " FUGAS DE AIRE EN LA RED ", el sistema experto proporciona información sobre qué son, qué tipo de fugas existen, cuáles son los problemas que originan estas, cómo afectan monetariamente a la industria, cómo afectan el consumo y calidad del aire comprimido, cuál es el porcentaje permisible por fugas en un sistema de aire comprimido, como afecta el diámetro de orificio de fuga, cuáles son los orígenes de las fugas, cuáles son los puntos mas frecuentes de fugas dentro de un sistema de aire comprimido, cuales son las formas de detectar fugas. Toda esta información, el sistema la va proporcionando en pantalla individuales de una manera en la cual, el usuario obtiene el mejor aprovechamiento y aprendizaje de esta.

Todos los botones de " OK ", a excepción del botón que se presenta en la pantalla, en la cual, el sistema pregunta las opciones de análisis de: RECUPERACIÓN DE CALOR, FUGAS DE AIRE EN LA RED, este nos conducen siempre a la pantalla anterior de la cual fue llamada la pantalla en la que nos encontremos. El botón de " OK " de la pantalla, en la cual, el sistema pregunta las opciones de análisis de: RECUPERACIÓN DE CALOR, FUGAS DE AIRE EN LA RED, nos conduce a una pequeña pantalla que indica, la terminación de este módulo de análisis energético. A su vez pregunta si:

- 1) ¿ DESEAS RECAPITULAR LA SESIÓN ? Con esta opción el sistema reinicia el módulo de análisis energético.
- 2) ¿ DESEAS TERMINAR LA SESIÓN ? Con esta opción el sistema nos regresa al menú de la nueva instalación
- 3) PANTALLA ANTERIOR. Nos lleva a la pantalla anterior, de la cual se llamo la pantalla actual.

Así como el botón de " OK ", el sistema presenta el botón de " PANTALLA ANTERIOR ", este nos lleva a la pantalla anterior, de la cual se llamo la pantalla en la que se encuentre actualmente el usuario.

5.8.2.* Módulo 2.- Análisis de energía de un sistema de aire comprimido ya establecido (compresores, sistema de distribución y sus accesorios).

En esta parte el sistema experto, presenta un menú de seis opciones, al cual llamamos " MENÚ DE SELECCIÓN DE ANÁLISIS ", que son (ver figura):

- 1) CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE LA RED.
- 2) CONSUMO REAL DE AIRE.
- 3) SELECCIÓN DEL COMPRESOR ADECUADO.
- 4) SELECCIÓN DE LA SECADORA APROPIADA.
- 5) VENTILACIÓN REQUERIDA EN LA SALA.
- 6) CAÍDA DE PRESIÓN EN LAS TUBERÍAS.

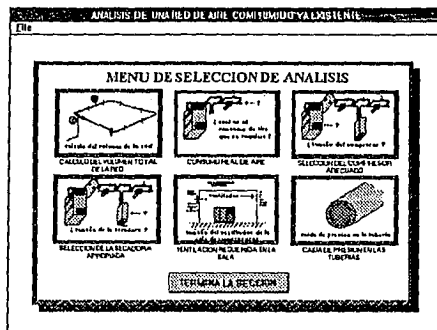


fig.5.23.

1) CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE LA RED :

El cálculo del volumen total de la red, se realiza ya que este forma parte importante en el cálculo del consumo real de aire del sistema de aire comprimido. Este volumen total por consecuencia se calcula con el fin de seleccionar un compresor tal que su capacidad de carga sea mayor que el consumo real de aire comprimido; El consumo real de aire se calcula en la sección de " CONSUMO REAL DE AIRE ".

El cálculo del volumen total de la red, se efectúa en redes ya hechas, con el objeto de conocer y checar si el compresor ó compresores de aire satisfacen las demandas de aire comprimido, así, como también para conocer si las

dimensiones de las distintas líneas que conducen el aire comprimido a los puntos de consumo están correctas, o sea, si fueron perfectamente calculadas. También a su vez, el volumen total de la red, se calcula en una nueva instalación con el objeto de checar que el compresor de aire que va a ser instalado, es el correcto ó adecuado para la demanda real de aire comprimido.

Para que el sistema experto ayude a efectuar este cálculo, el usuario debe de saber las dimensiones de la red de aire comprimido, las dimensiones que se requieren son longitud y diámetro interno de las tuberías.

El sistema inicia el cálculo del volumen de la red, solicitando al usuario el volumen del tanque receptor en una pantalla de captura; ya que el volumen total de la red es igual a la suma del volumen de la red más el volumen del tanque receptor. Para el volumen de la red, el sistema experto pregunta primeramente en esa misma pantalla, de cuántas líneas principales está compuesta la red de aire, como se muestra en la siguiente figura:

Cálculo del volumen total del sistema de aire comprimida.

¿Cuál es el volumen del tanque receptor (litros) =

Diga cuántas líneas principales tiene su red de aire comprimida =

CONTINUAR CONTINUAR

fig.5.24.

Después de dar la información, el usuario puede presionar un botón de CONTINUAR para seguir con el cálculo. Al presionar el botón de CONTINUAR el sistema llevará al usuario a otra pantalla, en la cual, le indicará en que línea principal se encuentra, en esa misma pantalla el sistema pregunta las dimensiones de longitud (mts) y diámetro interno (mm) de dicha línea principal, así como también el número de líneas de servicio que contiene dicha línea principal (fig.5.25).

ANÁLISIS DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO YA EXISTENTE

File

CAPTURA DE DATOS DE LA LINEA PRINCIPAL

EL NUMERO DE LINEAS PRINCIPALES DE LA RED DE AIRE SON:
 Y TE ENCUENTRAS EN LA NUMERO: 1

¿Cuál es la longitud de la línea principal número 1 en (mts) =

¿y cuál es el diámetro interno de la línea principal en (mm) =

¿ Cuantas líneas de distribución tiene la línea principal ? =

Fig. 5. 25.

Así como en la pantalla anterior, en esta pantalla también existe un botón de CONTINUAR, el cual, también nos lleva a otra pantalla, en la que se indica la línea de distribución en la que se encuentra el usuario, para este caso también se le pregunta al usuario la longitud(mts) y diámetro interno(mm) de dicha líneas de distribución, así como también cuantas líneas de servicio contiene dicha línea de distribución en estudio (fig. 5.26.).

ANÁLISIS DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO YA EXISTENTE

File OK

CAPTURA DE DATOS DE LA LINEA DE DISTRIBUCION

EL NUMERO DE LINEAS DE DISTRIBUCION DE LA LINEA PRINCIPAL 1 SON: Y TE ENCUENTRAS EN LA NUMERO: 1

¿Cuál es la longitud de la línea de distribución número 1 en (dm) =

¿y cuál es el diámetro interno de la línea de distribución en (dm) =

¿ Cuantas líneas de servicio tiene la línea de distribución ? =

Fig. 5. 26.

En esta pantalla existe también el botón de CONTINUAR, pero para este caso, este botón ahora nos lleva a otra pantalla, en la que el sistema experto pregunta, cuántos grupos de líneas de servicio iguales (con las mismas dimensiones (longitud y diámetro interno) y características de diseño) se pueden formar para el cálculo del volumen de la línea de distribución en estudio. Este agrupamiento de líneas de servicio con dimensiones iguales, es con el fin, de que el usuario no le esté dando información repetida al sistema experto, es decir, el usuario solamente le debe indicar al sistema cuántas líneas de servicio son iguales y cuáles son sus dimensiones de longitud y diámetro interno.

Después de indicarle al sistema cuantos grupos de líneas de servicio se pueden formar para el cálculo del volumen de la línea de distribución en estudio, este se irá a otra pantalla, en la cual, le indicará al usuario cuantos grupos de líneas de servicio existen en la línea de distribución en estudio, así, como el número de líneas de servicio .

En esta pantalla el usuario debe de indicarle al sistema experto, cuál es el número de líneas de servicio para cada grupo y cuáles son sus dimensiones de longitud y diámetro interno para cada caso. Si el usuario le diera información incorrecta al sistema, en cuanto al número de líneas de servicio, el sistema experto lo detectará y le mandará al usuario el mensaje apropiado, indicándole cual es el error.

CAPTURA DE DATOS DE LA LINEA DE SERVICIO			
EL NUMERO DE LINEAS DE SERVICIO DE LA LINEA DE DISTRIBUCION 1			
QUE RESTAN SON :	<input type="text" value="1"/>	Y EL NUMERO DE GRUPOS ES :	<input type="text" value="1"/>
Y TE ENCUENTRAS AHORA EN EL GRUPOS NUMERO :	<input type="text" value="1"/>		
¿Cuál es el número de líneas de servicio iguales para este grupo número 1 ? =	<input type="text" value="1"/>		
¿Cuál es la longitud de la línea de servicio del grupo número en [dm] ? =	<input type="text" value="10"/>		
¿y cuál es el diámetro interno de la línea de servicio en [dm] =	<input type="text" value="5"/>		
RECAPTURAR DATOS DE LAS LINEAS DE SERVICIO		CONTINUAR	

Fig.5.27.

Cuando el sistema experto termina la sección de captura de las características de la red de aire, este inicia el cálculo del volumen de la red de aire, es decir, realiza la suma de todos los volúmenes de la red. Posteriormente le suma al volumen calculado, el volumen del tanque receptor, para poder darle al usuario el volumen total de la red.

Para terminar este módulo o sección el sistema le pregunta al usuario si:

1) Desea " AYUDA PARA LA SELECCIÓN DEL COMPRESOR ADECUADO ". Con esta

opción, el sistema llevará al usuario al módulo de CONSUMO REAL DE AIRE, en donde el sistema experto le dará al usuario la demanda real de aire que requiere su sistema de aire comprimido.

2) Desea irse al " MENÚ DE SELECCIÓN DE ANÁLISIS ".

2) CONSUMO REAL DE AIRE :

El cálculo del consumo real de aire comprimido de la red, se realiza con el fin de seleccionar un compresor, tal que su capacidad de carga sea mayor que el consumo real de aire comprimido.

El sistema experto inicia este cálculo recopilando información del usuario, acerca de las características de trabajo del equipo compresor y del medio ambiente (fig.5.28.).

A continuación de la información correcta acerca de su sistema de aire comprimido como se le pide:

¿ Durante las horas de producción normal de su empresa ?

temperatura de entrada al receptor (°C) = 30

temperatura en el receptor (°C) = 28

presión máxima en el receptor (bar) = 8

presión mínima en el receptor (bar) = 7

volumen del receptor (lts) = 1800

temperatura máxima ambiente (°C) = 32

temperatura mínima ambiente (°C) = 18

altura su rotación al nivel del mar (mts) = 1750

humedad relativa ambiente (%) = .5

presión atmosférica (bar) = 0

REGRESAR AL MENÚ CONTINUAR

Fig. 5.28.

Posteriormente, le pregunta al usuario si ya cálculo el volumen total de la red, si el usuario contesta que NO, el sistema le muestra dos opciones al usuario:

- CALCULAR EL VOLUMEN TOTAL DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO CON LA AYUDA DEL SISTEMA EXPERTO.** Si el usuario seleccionará esta opción, el sistema lo llevará al módulo de " CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE LA RED ", en donde, el sistema le ayudará al usuario al cálculo del volumen total de la red. Después de realizar este cálculo, el sistema inicia el cálculo del consumo real de aire requerido por el sistema de aire comprimido.
- EL USUARIO DARÁ EL VOLUMEN TOTAL DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO, CALCULADO POR SI MISMO.** Con esta opción, el usuario puede darle al sistema el volumen total de la red calculado por el mismo, es decir, sin la ayuda del sistema. Después de

realizar este cálculo(o darlo al sistema), el sistema inicia el cálculo del consumo real de aire requerido por el sistema de aire comprimido.

Si por otra parte, el usuario contestase que SI, el sistema inicia el cálculo del consumo real de aire requerido por el sistema de aire comprimido, este cálculo lo realiza empleando la formula 1:

$$Q_c = \frac{V \times f_{max} \times A_p \times T_1}{0.25 \times p_1 \times T_0} \quad (\text{ formula 1 }).$$

donde :

- V volumen total de la red (l/s).
- f_{max} frecuencia máxima de permitida en el ciclo (1/s).
- A_p diferencia entre ajustes del preostato (bar).
- p₁ presión atmosférica (bar).
- T₁ temperatura de succión o de entrada al tanque recibidor (°K).
- T₀ temperatura en el tanque recibidor (°K).
- Q_c capacidad (FAD) del compresor (l/s).

Al seleccionar un compresor debe de asegurarse que la capacidad del compresor (Q_c), sea mayor que el consumo real del sistema.

Para iniciar el cálculo del consumo total de la red, el sistema le muestra al usuario en un pantalla, el diagrama de regulación del compresor, en donde el usuario debe de indicarle al sistema cuales son o serán los tiempos de carga y descarga. Estos tiempos son solicitados por el sistema para calcular la frecuencia máxima del ciclo(f_{max}). La f_{max} se calcula partiendo de :

$$f = \frac{\alpha(1-\alpha)Q_c}{\Delta V} \quad (\text{ formula 2 }).$$

En donde la frecuencia será máxima cuando $\alpha(1-\alpha)$ sea máximo, lo cual ocurre para $\alpha=0.5$. Por lo que f_{max} queda como:

$$f_{max} = \frac{0.25Q_c}{\Delta V} \quad (\text{ formula 3 }).$$

donde:

ΔV Aumento de volumen de aire durante la carga (m^3)

El sistema calcula esta variable utilizando la formula:

$$\Delta V = \frac{\Delta m R T_1}{P_1} \quad (\text{ formula 4 }).$$

donde:

Δm Incremento masa de aire (Kg).
 R 286.9 J/Kg x °K constante del aire.
 T_1 Temperatura de entrada (°K).
 P_1 Presión de entrada (bar).

la diferencia de presión en el preostato, el sistema lo calcula utilizando la formula:

$$P_p = P_s - P_b \quad (\text{ formula 5 }).$$

donde:

P_s Presión de descarga o parada (bar).
 P_b Presión de carga o arranque (bar).

Después de calcular todas las variables necesarias, el sistema emplea entonces la formula 1, con la cual, calcula el consumo de aire total requerido por el sistema de aire comprimido. Con este dato, el usuario ya puede decidir si el compresor a emplear ó el empleado es el correcto o no. El resultado de los cálculos, el sistema experto los muestra en otra pantalla para evitar confusiones. Posteriormente, se va a otra pantalla, en la cual, le muestra al usuario dos opciones:

- 1) **AYUDA PARA LA SELECCIÓN DEL COMPRESOR ADECUADO.** Con esta opción, el sistema experto le ayudará a decidir al usuario que compresor adquirir, o dicho de otra forma, el sistema le indicará al usuario, cual es la capacidad mínima que desde de tener el compresor instalado ó el futuro compresor a instalar. Esto se realiza en el módulo de " SELECCIÓN DEL COMPRESOR ADECUADO ".
- 2) **MENÚ DE SELECCIÓN DE ANÁLISIS.** Con esta opción, el sistema regresa al usuario al menú de selección de análisis.

3) SELECCIÓN DEL COMPRESOR ADECUADO :

En esta sección, el sistema experto le ayudará a decidir al usuario qué compresor adquirir, o dicho de otra forma, el sistema le indicará al usuario, cuál es la capacidad mínima que tener el compresor instalado ó el futuro compresor a instalar.

En este módulo, como en el módulo anterior, el sistema experto inicia el análisis recopilando información del usuario, acerca de las características de trabajo del equipo compresor utilizado y del medio ambiente. Posteriormente le pregunta al usuario, si ya cálculo el consumo total de aire del sistema de aire comprimido, si el usuario contesta que NO, el sistema le muestra dos opciones :

- a) ¿ DESEAS CALCULAR EL CONSUMO DE AIRE CON LA AYUDA DEL SISTEMA ?. Con esta opción, el sistema se va al módulo de CONSUMO REAL DE AIRE, donde se realiza el cálculo del consumo real o total de aire del sistema de aire comprimido.
- b) EL USUARIO DARÁ EL CONSUMO DE AIRE CALCULADO POR SI MISMO. Con esta decisión, el usuario puede darle al sistema el consumo total de la red calculado por el mismo, es decir, sin la ayuda del sistema. Después de realizar este cálculo. El sistema le pregunta al usuario si ya cálculo el volumen total de la red.

Si el usuario contestase que SI, el sistema experto le preguntaría si ya cálculo el volumen total de la red. Nuevamente, si el usuario contesta que NO, el sistema le muestra dos opciones :

- a) CALCULAR EL VOLUMEN TOTAL DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO, CON LA AYUDA DEL SISTEMA EXPERTO. Si el usuario seleccionará esta opción, el sistema lo llevará al módulo de " CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE LA RED ", en donde, el sistema le ayudará al usuario, el cálculo del volumen total de la red.
- b) EL USUARIO DARÁ EL VOLUMEN TOTAL DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO, CALCULADO POR SI MISMO. Con opción, el usuario puede darle al sistema el volumen total de la red calculado por el mismo, es decir, sin la ayuda del sistema. Después de realizar este cálculo u operación, el sistema inicia el análisis para la selección del compresor del sistema de aire comprimido.

Si por otra parte, el usuario contestase que SI, el sistema inicia el análisis para la selección del compresor del sistema de aire comprimido.

El análisis para la selección del compresor del sistema de aire comprimido, consiste en la comparación de la capacidad del compresor instalado (ó el que va a ser instalado) y el consumo total de aire del sistema de aire comprimido calculado. Si el consumo total es menor que la capacidad (FAD) del compresor en estudio, el sistema le indicará al usuario que la capacidad del compresor en estudio es el adecuado, pero si por otro caso, si el consumo total es mayor que la capacidad (FAD) del compresor en estudio, el sistema le indicará al usuario que su compresor no es el adecuado y le ayudará a seleccionar un compresor que cumpla con los requerimiento de su sistema de aire comprimido.

Para la selección del nuevo compresor, el sistema experto le pide al usuario la capacidad del nuevo compresor que encontró en el mercado y que va a ser instalado. Si la capacidad de ese compresor es menor a la requerida por el

sistema, éste le manda un mensaje indicándole que ese compresor está por debajo de la capacidad (FAD) requerida por el sistema. Pero si la capacidad de ese nuevo compresor esta por encima del consumo total de aire del sistema de aire comprimido, el sistema calcula, la frecuencia máxima permisible (f_{max}), si la f_{max} no es la adecuada, es decir, si la f_{max} es mayor de $0.033s^{-1}$, el sistema le indica al usuario que no está correcta su f_{max} de ciclo por lo que la debe de corregir modificando la A_p entre las presiones de carga y descarga del sistema, así como también si es necesario los tiempos de carga y descarga.

Si la frecuencia máxima del ciclo de trabajo (carga y descarga) es la correcta, el sistema le indica al usuario que la capacidad de su compresor, así como la frecuencia de trabajo son las adecuadas. Con esta pantalla, en la cual, se muestran estos resultados, el sistema termina el módulo regresando al MENÚ DE SELECCIÓN DE ANÁLISIS.

4) SELECCIÓN DE LA SECADORA APROPIADA :

En esta parte, el sistema experto calcula la capacidad real de la secadora que debe de estar instalada en el sistema de aire comprimido existente o a instalar.

El sistema experto inicia este proceso preguntándole al usuario los siguientes datos en una pantalla de captura):

- Temperatura de entrada a la secadora ($^{\circ}C$).
- Temperatura de enfriamiento de la secadora ($^{\circ}C$).
- Punto de rocío a presión requerido ($^{\circ}C$).
- Presión efectiva de trabajo (bar).
- Capacidad del compresor (l/s).

ANÁLISIS DE UNA UNIDAD DE AIRE COMPRIMIDO YA EXISTENTE

File

En esta parte del sistema se dará una pequeña ayuda, para la verificación de nuestra secadora ya instalada y para una posible selección de una nueva secadora, si así fuera requerido, a partir de cierta información dada por el usuario.

La información requerida es la siguiente:

temperatura de entrada a la secadora ($^{\circ}C$) -

temperatura de enfriamiento de la secadora ($^{\circ}C$) -

punto de rocío a presión requerido ($^{\circ}C$) -

presión efectiva de trabajo (bar) -

capacidad del compresor (l/s) -

RECIBIR A MENÚ CONTINUAR

fig.5.29.

Con esta información el sistema se va a otra pantalla, en la cual, le pregunta al usuario, el valor del factor de corrección (la constante K). Para el cálculo del factor de corrección, el sistema proporciona una ayuda, en la cual, se le enseña al usuario como calcular dicho factor K, dependiendo del punto de secado requerido por el sistema de distribución de aire comprimido.

Para el cálculo del factor de corrección, el sistema experto maneja dos tipos de tablas, una cuando el punto de rocío de secado se encuentra entre los -50 y 2°C, y la otra para cuando el punto de rocío se encuentra entre los 2.01 y 5 °C.

Después de indicarle al sistema, cual es el factor de corrección (fig. 5.30), éste da el valor de la carga real de la secadora indicándole a su vez que tipo de secadora es la recomendada, es decir, si de adsorción, absorción o refrigerativa.

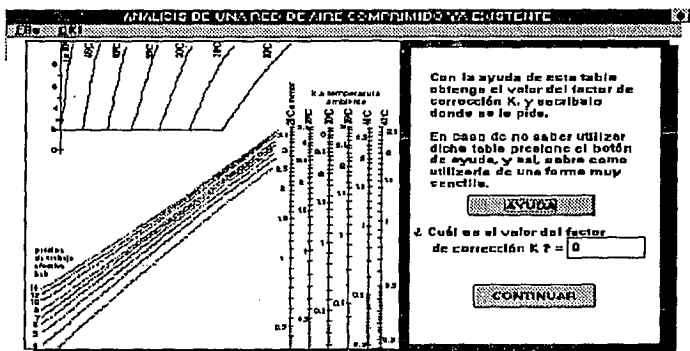


Fig.5.30

Este módulo termina preguntándole al usuario si:

- 1) ¿ Deseas realizar otro análisis en cuanto a las secadoras ?. Con esta opción, el sistema le ayuda al usuario a calcular la capacidad real de otra secadora, es decir, se inicia nuevamente el proceso de SELECCIÓN DE LA SECADORA APROPIADA.
- 2) ¿ Terminar con el análisis, en cuanto a las secadoras ?. Con esta opción, el sistema regresa al MENÚ DE SELECCIÓN DE ANÁLISIS.

5) VENTILACIÓN REQUERIDA EN LA SALA :

En lo referente al análisis de ventilación en la sala del compresor, el sistema analiza 4 puntos muy importantes, los cuales son:

1. Balance de calor.
2. Caudal de aire de ventilación.
3. Potencia del motor de ventilador.
4. Dimensiones de las rejillas de entrada y salida.

Los cuatro puntos anteriores, se presentan en una pantalla en forma de opciones (esta pantalla es la pantalla de opciones de cálculo), es decir, el usuario puede realizar el cálculo de cualquiera de las opciones en forma independiente, aunque también el resultado de alguno de estos cálculos se pueden usar para el cálculo de los otros.

1. Balance de calor: En cuanto a balance de calor, el sistema solamente le proporciona al usuario una breve introducción de como obtener los diferentes valores que se deben considerar y sumar en una sala de compresores.

2. Caudal de aire de ventilación: Para este caso, el sistema experto utiliza la formula:

C

$$QV = \frac{C}{d \times Cp \times \Delta T} \times 1.1$$

donde :

- Qv** Caudal de aire de ventilación en m³/s.
C Calor radiado a la sala en KW.
d Densidad del aire de ventilación en kg/m³.
Cp Calor específico del aire de ventilación en KJ/Kg°K.
ΔT Incremento de temperatura en °K
1.1 Factor de seguridad.

NOTA:

$$1KW = 1KJ/s = 23.5E^{-4} \text{ Kcal/s} = 0.948 \text{ BTU/s.}$$

$$Cp = 1.007 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K con } t \leq 50^\circ\text{C.}$$

en donde al usuario solamente se le solicita en una pantalla de captura, el calor radiado a la sala, la densidad del aire de ventilación, el calor específico del aire de ventilación y el incremento de temperatura del aire de ventilación. Posteriormente de la captura de la información, el sistema experto da el resultado de los cálculos realizados en una pantalla de resultados, de la cual, se deriva otra pantalla de decisión de salida.

3. **Potencia del motor de ventilador:** Para que el sistema experto, obtenga la potencia que debe de tener el motor del ventilador de ventilación, este solicita la siguiente información al usuario: El caudal del ventilador en (l/s), La eficiencia del ventilador y la resistencia a través de las rejillas (en Pascal). Para el cálculo de la potencia del motor, el sistema experto emplea la formula:

$$\text{potencia del motor} = \frac{(Qv/1000) \times Re}{1000 \times Ef}$$

donde:

- Qv** Caudal de aire de ventilación en l/s.
- Re** Resistencia a través de las rejillas en (Pa).
- Ef** Eficiencia del ventilador.

NOTA:

La eficiencia del ventilador, varía entre 0.6 y 0.8

Como puede verse, para este cálculo debe de conocerse el caudal de aire de ventilación, el cual, el usuario puede calcularlo con la ayuda del sistema como se mostró en el punto anterior. Después de la captura de información el sistema experto da el resultado de los cálculos realizados en una pantalla de resultados, de la cual, se deriva otra pantalla de decisión de salida.

4. **Dimensiones de las rejillas de entrada y salida:** El sistema experto para el cálculo de las dimensiones de entrada y salida utiliza la formula

$$S = \frac{Qv}{V}$$

donde:

- Qv** Caudal de aire de ventilación en l/s.
- V** Velocidad del aire a través de las rejillas en m/s.
- S** Superficie de las rejillas en m².

NOTA:

La velocidad máxima es de 5 m/s.

La introducción de los datos es por medio de una pantalla de captura, y los resultados, se proporcionan al usuario por medio de una pantalla de resultados, de la cual, también se deriva otra pantalla de decisión de salida.

En la pantalla de decisión de salida, el sistema experto le proporciona al usuario tres opciones:

- A. **¿ DESEAS REALIZAR OTRO CALCULO ?**. Con esta opción el usuario puede realizar otro cálculo, según sea el caso en el que se encuentre.
- B. **TERMINAR LA SESIÓN**. Con esta opción se le indica al sistema, que ya no se quiere realizar otro cálculo de ese tipo y que regrese a la pantalla de opciones de cálculo.
- C. **PANTALLA ANTERIOR**. Como su nombre lo indica, esta opción nos lleva a la pantalla anterior de la cual llegamos.

Este módulo termina presionando el botón de " REGRESAR AL MENÚ ", el cual se encuentra en la pantalla de opciones de cálculo.

6) CAÍDA DE PRESIÓN EN LAS TUBERÍAS.

Este módulo inicia cuando en el MENÚ DE SELECCIÓN DE ANÁLISIS se selecciona la opción de " CAÍDA DE PRESIÓN EN LAS TUBERÍAS ", con esta elección el sistema muestra otra pantalla, la cual, presenta dos opciones de caída de presión en la tubería:

- 1. CAÍDA DE PRESIÓN EN LAS TUBERÍAS POR EL DIÁMETRO INTERNO.
 - 2. CAÍDA DE PRESIÓN POR FUGAS EN LAS TUBERÍAS.
-
- 1. CAÍDA DE PRESIÓN EN LAS TUBERÍAS POR EL DIÁMETRO INTERNO.

Para este punto, el sistema experto inicia indicándole al usuario que existen tres tipos de líneas en una red de aire comprimido, así, como a su vez le indica que seleccione la línea de estudio (de la que desea información). Después de indicarle al sistema cual es la línea que va a ser analizada, este le pide al usuario por medio de una pantalla de captura de datos, el caudal en la línea (l/s), la longitud (mts), la presión de trabajo (bar) y el diámetro interno (mm).

Después de obtener la información mencionada, el sistema le muestra al usuario otra pantalla con los diversos accesorios que pudiesen estar instalados en la línea, con el fin de que el usuario le indique al sistema qué tipo y número de accesorios están utilizados en la línea que se está analizando. Después de darle al sistema toda la información solicitada, éste

inicia el cálculo de caída de presión, con dicha caída de presión y el tipo de línea, el sistema experto ya puede hacer un juicio en cuanto a la eficiencia de la línea que se está analizando, es decir, si su línea esta bien diseñada y dimensionada.

2. CAÍDA DE PRESIÓN POR FUGAS EN LAS TUBERÍAS.

Para este caso, el sistema experto le indica al usuario, que realice el análisis de la red de aire comprimido durante la noche ó las horas en las cuales la red no tiene ningún consumo de aire, con el fin de poder detectar las fugas. El sistema solamente le pide al usuario en una pantalla de captura de datos la siguiente información :

1. Capacidad de aire del compresor en l/s.
2. Tiempo en carga del compresor en minutos.
3. Tiempo del compresor en reposo en minutos.

Con esta información, el sistema realiza el cálculo del porcentaje de caída de presión. Si el porcentaje de caída de presión es menor o igual al 10%, el sistema le indica al usuario que las pérdidas por fugas de aire en el sistema son aceptables, pero si por el contrario, el porcentaje de caída de presión es superior al 10%, el sistema le indicará al usuario que su sistema de aire comprimido en cuanto a pérdidas por fugas, se encuentra en un rango no aceptable, es decir, tienes una pérdida mayor al 10% de la capacidad total del red;, debido a ello se recomienda que haga una inspección detallada de la red de aire comprimido, así, como también, se le de un mantenimiento adecuado, por que debido a los malos mantenimiento los gastos y deterioro del sistema de aire comprimido son mayores.

Otra recomendación que da el sistema, es realizar la inspección de empaquetaduras de válvulas, sustitución de válvulas defectuosas, emplear mangueras de buena calidad, revisión del buen estado de las tuberías, etc..

Con esta última pantalla termina el análisis de fugas de la red de aire comprimido, regresando al menú de CAÍDA DE PRESIÓN EN LAS TUBERÍAS, en donde, se presiona el botón de REGRESAR AL MENÚ, el cual, llevará al usuario al MENÚ DE SELECCIÓN DE ANÁLISIS, en dicho menú como ya se indicó anteriormente también existe el botón de TERMINA LA SECCIÓN, el cual, llevará por ultimo al usuario al MENÚ PRINCIPAL.

Con lo anterior termina el módulo de análisis de energía de un sistema de aire comprimido ya establecido.

5.8.3. Módulo 3. Mantenimiento del compresor, sistema de distribución y accesorios.

Para explicar en forma rápida y concreta en qué consiste el módulo de mantenimiento, diremos que este está estructurado de tal forma que el usuario obtenga la información de una manera sencilla y clara. Para ello, este módulo se ha estructurado como en shell ó módulo tutorial y de consulta, compuesto de cuatro submódulos. El primer submódulo trata del mantenimiento de los compresores de aire, el segundo submódulo trata del mantenimiento de las secadoras de aire comprimido, el tercer submódulo trata del mantenimiento de la redes de aire comprimido y el cuarto y ultimo submódulo trata del mantenimiento de los accesorios de línea.

Los cuatro submódulos anteriores son presentados por el sistema experto en una pantalla menú, a la cual llamamos " MENÚ DE MANTENIMIENTO ". Y sus opciones son :

1. MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR.
2. MANTENIMIENTO DE LA SECADORA.
3. MANTENIMIENTO DE LA RED.
4. MANTENIMIENTO DE LOS ACCESORIOS.

ver figura siguiente.

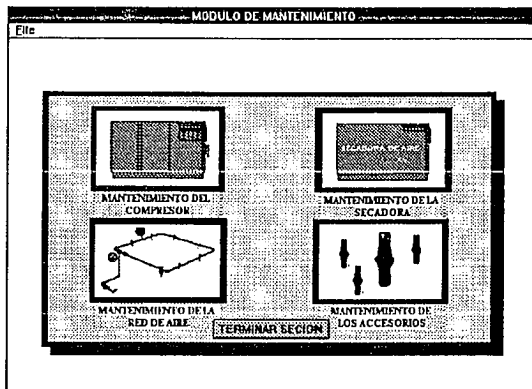


fig. 5.31

1. MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR:

Cuando se selecciona la opción de MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR, el sistema experto pregunta ¿sobre que tipo de compresor requiere información?; Para este caso, el sistema presenta dos opciones de compresores, los compresores exentos y los compresores lubricados.

COMPRESORES EXENTOS:

Para el caso de los compresores exentos, el sistema presenta tres tipos de compresores, estos compresores son los compresores de pistón, diente rotativo y los de tornillo.

1. COMPRESORES EXENTOS DE PISTÓN. Para estos compresores de pistón, el sistema experto da al usuario información sobre:

- A. El arranque normal y paradas del compresor.
- B. Programa de mantenimiento preventivo. Este programa de mantenimiento preventivo es diario, mensual, cada seis meses y anual.
- C. Precauciones de operación y seguridad.

2. COMPRESORES EXENTOS DE DIENTE ROTATIVO. Para el tipo de los compresores exentos de diente rotativo, el sistema presenta dos opciones:

- 1) Compresores de diente rotativo enfriados por agua.
- 2) Compresores de diente rotativo enfriados por aire.

Para ambas opciones el sistema experto proporciona información al usuario sobre:

- A. El motor.
- B. Programa de mantenimiento preventivo. Este programa de mantenimiento preventivo es diario, semanal, mensual, cada tres meses y anual.
- C. Especificaciones de aceite.
- D. Cambios de aceite.

3. COMPRESORES EXENTOS DE TORNILLO. Para estos compresores de tornillo, el sistema experto presenta así como en los dos casos anteriores dos tipos de compresores:

- A) Compresores exentos de tornillo electrónicos.
- B) Compresores exentos de tornillo electromecánicos.

En ambos tipos de compresores electrónicos y electromecánicos, el sistema presenta otra clasificación:

- a. *Los enfriados por aire.*
- b. *Los enfriados por agua.*

Para estos dos casos, así como en los casos anteriores, estos compresores nuevamente se clasifican según el número de etapas de compresión, y los manejados por el sistema son:

1. **De una etapa.**
2. **De dos etapas.**

Para estos dos casos, el sistema da información acerca de:

- A. El motor.
- B. Programa de mantenimiento preventivo. Este programa de mantenimiento preventivo es diario, semanal, cada seis meses y anual.
- C. Especificaciones de aceite.
- D. Cambios de aceite.

COMPRESORES LUBRICADOS:

Para el caso de los compresores lubricados, el sistema presenta solamente dos tipos de compresores, los compresores lubricados de pistón y los compresores lubricados de tornillo.

1. **COMPRESORES LUBRICADOS DE PISTÓN.** Para estos compresores de pistón, el sistema experto da al usuario información sobre:
 - A. El arranque normal y paradas del compresor.
 - B. Programa de mantenimiento preventivo. Este programa de mantenimiento preventivo es diario, mensual, cada seis meses y anual.
 - C. Precauciones de operación y seguridad.

2. **COMPRESORES LUBRICADOS DE TORNILLO.** Los compresores lubricados de tornillo no presentan tantas clasificación en cuanto al tipo de estos, por lo que el mantenimiento de ellos es general para todos ellos. El sistema experto así como en todos los casos anteriores presenta al usuario información acerca de:

- a) El motor.

- b) Programa de mantenimiento preventivo. Este programa de mantenimiento preventivo es diario, semanal, mensual, cada tres meses y anual.
- c) Especificaciones de aceite.
- d) Cambios de aceite.

2. MANTENIMIENTO DE LA SECADORA:

En lo referente al mantenimiento de las secadoras, primeramente el sistema presenta dos opciones después de seleccionar la opción de MANTENIMIENTO DE LA SECADORA, estas opciones son:

- 1) SECADORAS DE ADSORCIÓN.
- 2) SECADORAS DE REFRIGERACIÓN.

1) SECADORAS DE ADSORCIÓN: Para este tipo de secadoras, el sistema experto muestra que estas para su mantenimiento se clasifican en dos:

- a) SECADORAS DE ADSORCIÓN DE TORRETA.
- b) SECADORAS DE ADSORCIÓN DE ROTOR.

a) SECADORAS DE ADSORCIÓN DE TORRETA: El sistema experto para este tipo de secadoras proporciona información acerca de los principios básicos de secado y del mantenimiento que deberá llevarse a cabo en ellas.

Para el programa de mantenimiento, el sistema experto proporciona información del mantenimiento diario, mensual y semestral del equipo, en forma de pantalla independiente para cada opción.

b) SECADORAS DE ADSORCIÓN DE ROTOR: Al igual que las secadoras de adsorción de torreta, el sistema experto proporciona al usuario los principios básicos de secado y del mantenimiento que deberá llevarse a cabo en las secadoras de adsorción de rotor. En el programa de mantenimiento, el sistema experto proporciona información del mantenimiento diario, semanal, mensual, trimestral y anual del equipo, en forma de pantalla independiente para cada opción.

2) SECADORAS DE REFRIGERACIÓN: Para este tipo de secadora, el sistema inicia proporcionándole al usuario una breve introducción de los principios básicos de secado, así como, del manejo de los refrigerantes que se emplean para este tipo de secadoras.

En lo referente al mantenimiento de las secadoras de refrigeración, el sistema le presenta al usuario una clasificación de estas, de acuerdo a la capacidad de las mismas. La clasificación de capacidad es:

- a) CAPACIDAD MENOR A 230 l/s.
- b) CAPACIDAD ENTRE 230 Y 299 l/s.
- c) CAPACIDAD ENTRE 300 Y 950 l/s.

en donde a cada punto o caso, el sistema le muestra al usuario un breve programa de mantenimiento preventivo.

3. MANTENIMIENTO DE LA RED:

Este módulo inicia especificándole al usuario en que consiste un programa de mantenimiento para redes de aire comprimido, es decir, que no existan fugas de aire, que el sistema se encuentre en un nivel de presión óptimo, etc.. Subsecuentemente le indica al usuario en pantalla individuales cuáles son los costos de pérdidas por fugas, cuáles son las consecuencias en operatividad debido a las fugas, cuáles son los puntos mas frecuentes de fugas, como detectar estas, cuáles son las causas de las fugas y como determinar dichas causas, cuál es el rango permisible de pérdidas de aire comprimido por fugas, así como también un programa de mantenimiento semanal del sistema de aire comprimido.

4. MANTENIMIENTO DE LOS ACCESORIOS.

En lo referente al mantenimiento de los accesorios de línea, el sistema experto solamente proporciona los periodos de cambio de los filtros, reguladores y lubricadores. Los accesorios de línea mencionados no pueden llevar un programa de mantenimiento periódico, ya que cuando se realiza el mantenimiento de la red de aire, el usuario es cuando realiza simultáneamente la detección de fallas de dichos accesorios. Cuando alguno de estos accesorios falla, es necesario reemplazar la pieza fallida (estas por lo regular se cambian cada 3000 de uso).

Debido a lo expuesto anteriormente se puede justificar el no tener un programa de mantenimiento de los accesorios de línea.

Este módulo de Mantenimiento del compresor, sistema de distribución y accesorios concluye presionando en el MENÚ DE MANTENIMIENTO del mismo, la opción de TERMINAR SESIÓN, la cual, regresa al MENÚ PRINCIPAL.

5.8.4. Módulo 4. Introducción a la teoría del aire comprimido (compresor, sistema de distribución y accesorios)

En este módulo, el sistema proporciona información introductoria a la teoría del aire comprimido, partiendo desde las características y propiedades del aire, una explicación sobre que es el aire comprimido, para qué sirve y cuál es su ventaja con respecto a otros medio de energía que se aplican en forma similar al aire comprimido, métodos de compresión del aire, una simulación del proceso de compresión efectuada por un compresor de pistón, los diferentes tipos de compresores que existen, así como las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, hasta la explicación visual y animada de un sistema de aire comprimido básico.

Este módulo, se inicia definiendo qué es el aire, cuáles son sus propiedades, cómo se comporta este al variar la presión, temperatura y volumen del mismo, también proporciona información sobre las leyes en las cuales está basada la teoría de la compresibilidad de los gases y las mezclas de los mismos (leyes de Boyle, de Dalton, etc.). Por consiguiente, presenta de una manera muy resumida la ley general de los gases y lo que es la compresibilidad.

Después de presentar de una manera introductoria y forzosa la información anterior, el sistema experto presenta un menú, al cual llamamos MENÚ DE INTRODUCCIÓN, en el cual, se presentan los siguientes puntos de estudio:

1. INTRODUCCIÓN AL AIRE COMPRIMIDO
2. CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO
3. ¿ COMO SE COMPRIME EL AIRE ?
4. MÉTODOS DE COMPRESIÓN DEL AIRE
5. TIPOS DE COMPRESORES
6. COMPONENTES DE UN COMPRESOR
7. SISTEMAS DE UN COMPRESOR
8. ACCESORIOS POSTERIORES AL COMPRESOR

1. INTRODUCCIÓN AL AIRE COMPRIMIDO: En este módulo, el sistema experto presenta información sobre el aire comprimido, haciendo primeramente una comparación del aire comprimido como forma de energía (El aire comprimido no es en sí mismo una forma de energía, pero sí es un medio para convertirla) con otros medios, los cuales son la electricidad y la hidráulica; la comparación que aquí se realiza, es respecto a que forma de energía es mejor de utilizar y aprovechar, presentando por lo tanto los pro y los contra de cada una de ellas.

Posteriormente se presentan las tres ramas o áreas principales de aplicación del aire comprimido, las cuales son, la construcción, la minería y la industria; en cada una de ellas se presenta en forma de hipertextos (ver figura siguiente) cómo se aplica o utiliza el aire comprimido en dicha área.

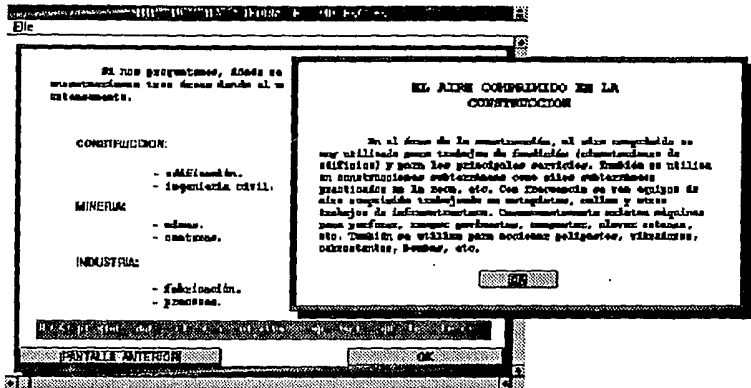


fig. 5.32

Para finalizar con la introducción al aire comprimido, en la pantalla presentada en la figura anterior se presenta un botón de OK, el cual, lleva al usuario al MENÚ DE INTRODUCCIÓN.

2. CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO: En este módulo, el sistema presenta información general del conjunto de propiedades y componentes que se requieren para determinar si el aire a comprimir es el adecuado o no, es decir, si cumple con todos los requerimientos de calidad establecidos.

Los principales requerimientos en los que está basada la calidad del aire son:

el contenido de humedad, el contenido de aceite en el aire, el contenido de partículas sólidas y el contenido de microorganismos. Considerando los requerimientos anteriores el sistema excepto hace mención de los cinco factores que determinan la calidad del aire y estos son: la presión, las partículas sólidas el aceite la temperatura y los condensados.

Para cada uno de los factores mencionados, el sistema proporciona información acerca de, que es este y como se puede evitar (de una manera muy breve y concreta).

3. ¿COMO SE COMPRIME EL AIRE?: Aquí se presenta en forma gráfica y con animación, el proceso básico de la compresión, el cual, consiste en disminuir el volumen de un recipiente cerrado en el que se encuentra un gas o líquido. Ver la siguiente figura.

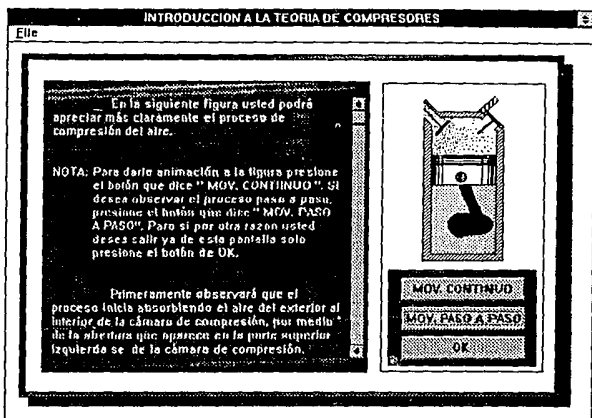


fig. 5.33

Con el botón de MOV. CONTINUO, el sistema presenta la animación continua del proceso de compresión. Con el botón de MOV. PASO A PASO, el sistema presenta la animación del proceso de compresión pero paso a paso. El botón de OK, regresa al usuario al MENÚ DE INTRODUCCIÓN.

4. MÉTODOS DE COMPRESIÓN DEL AIRE: En este módulo, solamente se mencionan y explican brevemente los cuatro métodos básicos de compresión del aire.

5. TIPOS DE COMPRESORES: Aquí se presentan los diversos equipos para la compresión del aire y otros gases. Los diversos equipos son presentados por el sistema experto en forma de esquema como el mostrado a continuación.

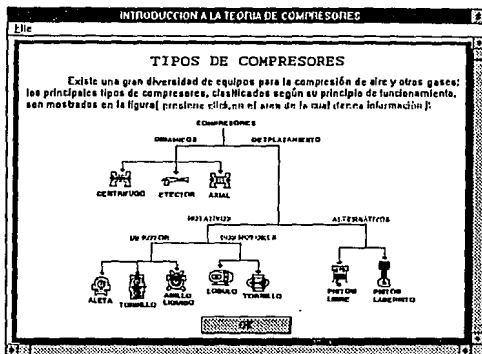


fig. 5.34

En dicho esquema, para solicitar información referente a un equipo o tipo de compresor, solamente el usuario tiene que posicionar la flecha indicadora del mouse, en el área o zona de interés, para así poder obtener información de cada uno de los tipos de compresores en forma individual detallada; esto se logra gracias a que el sistema maneja lo que se llama hiperregiones, es decir, que existen regiones específicas, las cuales son especificadas por el programador para poder desplegar textos o pantallas informativas referentes a la figura que se encuentre en dicha zona.

Presionando el botón de OK, el sistema regresa al usuario al MENÚ DE INTRODUCCIÓN.

6. COMPONENTES DE UN COMPRESOR: En este módulo, se presentan los diversos filtros de aire que integran o pudiesen integrar un sistema de aire comprimido. Los filtros tratados aquí son: Los filtros de entrada, los filtros de laberinto seco, los filtros de baño de aceite y los filtros de papel.

El sistema experto proporciona información de cada uno de estos componentes, en forma de pantallas individuales; las cuales son obtenidas o desplegadas por hipertextos de la siguiente pantalla.

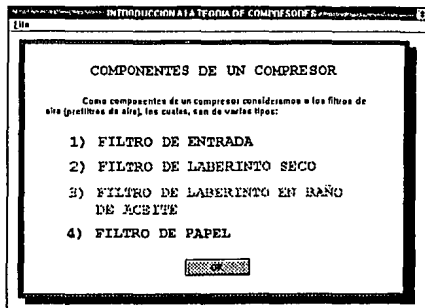


fig. 5.35

7. SISTEMAS DE UN COMPRESOR: Aquí, se presentan los diversos sistemas que integran a un compresor de aire. Entre los diversos sistemas que maneja o se presentan por el sistema experto, encontramos a los sistemas de lubricación, a los de regulación, a los enfriamiento y a los sistemas de supervisión y protección

Para cada uno de estos sistemas, el sistema experto proporciona información sobre que son y para que sirven.

En lo referente a los sistemas de lubricación, se presentan los sistemas de lubricación por salpicadura, por anillo, por presión y por inyección.

En los sistemas de enfriamiento, se manejan los sistemas de enfriamiento por agua y los sistemas de enfriamiento por aire.

8. ACCESORIOS POSTERIORES AL COMPRESOR: En lo referente a los accesorios posteriores al compresor, el sistema experto presenta información rápida y concreta de las secadoras de aire comprimido y los tanques recibidores

En lo que se refiere a las secadoras de aire comprimido, el sistema hace mención de los cuatro métodos de secado del aire, los cuales son: Enfriamiento por sobrecompresión, por enfriamiento, por absorción y por adsorción. En cada uno de estos métodos se proporciona información completa de las características de cada uno de los métodos, para que sirven y como funcionan cada uno de ellos.

En lo referente a los tanque recibidores, se presenta sus características y la importancia que tiene en un sistema de aire comprimido, así, como también un arreglo esquemático del la forma de armado de un sistema de aire comprimido básico detallando la ubicación del tanque recibidor.

En el MENÚ DE INTRODUCCION, también se presenta un botón de CONTINUAR, don de dicho botón se dirige a la pantalla siguiente:

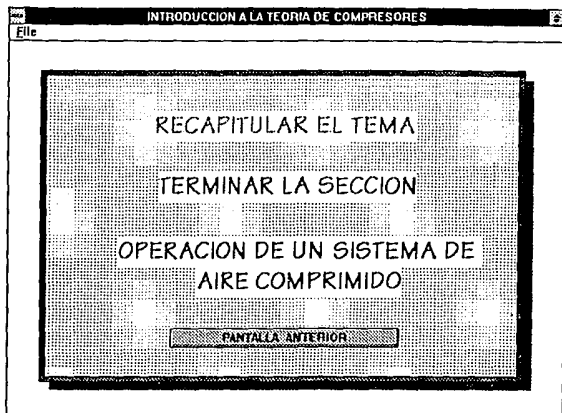


fig. 5.36

En donde la opción de RECAPITULAR, reinicia el módulo de INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DEL AIRE COMPRIMIDO. La opción de TERMINAR LA SECCIÓN, regresa al usuario al MENÚ PRINCIPAL. La opción de OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, envía al usuario a otra pantalla, en la cual, le explica que se hará en el nuevo módulo que se llamará y la advertencia de que el usuario será enviado a otro módulo, por lo cual, abandonará este módulo de introducción y volverá a tener acceso a el desde el MENÚ PRINCIPAL.

En el módulo de OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, se realiza una explicación animada de un sistema de aire comprimido básico (un sistema de aire comprimido básico, es aquel que contiene una unidad compresora de aire, una unidad secadora de aire comprimido, un tanque receptor y una red de aire comprimido). El sistema de aire comprimido básico que se explica, es un sistema que utiliza para el enfriamiento de las unidades compresora y secadora, un intercambiador de calor-aire agua.

Un intercambiador de calor es un módulo en el que interactúan los calores del aire (agua) con el calor de del aire (agua) pero sin tener contacto directo uno con el otro, es decir, dicho intercambio es de una manera indirecta, es decir, que existe una barrera física entre ellos (as).

La unidad compresora que se explica esquemáticamente, es una unidad compresora de dos etapas, mientras que la unidad secadora de aire comprimido es una secadora de adsorción enfriada por agua.

A continuación, se presenta la pantalla en la cual se realiza la explicación animada del sistema básico de aire comprimido.

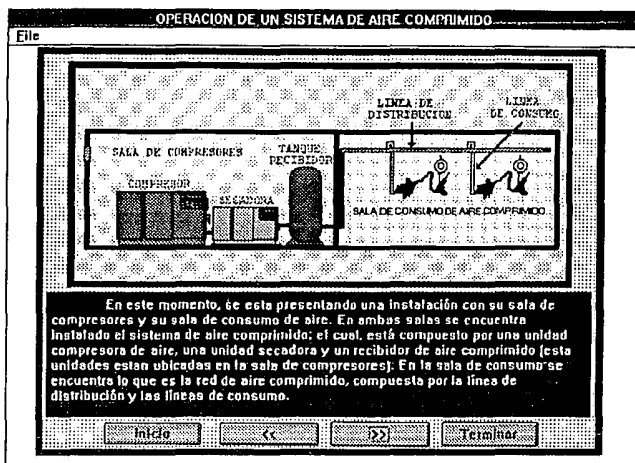


fig. 5.37

El botón de INICIO, como su nombre lo indica es para iniciar la animación explicativa del sistema de aire comprimido; también este botón reinicia la explicación no importando el avance que lleve esta.

Los botones de << y >> sirven para atrasar o adelantar un paso de la explicación del sistema de aire comprimido.

Por otra parte, el botón de TERMINAR, termina la sección o módulo explicativo para regresar al usuario al MENÚ PRINCIPAL, y con ello anterior termina todo lo referente con el módulo 4 (INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE LOS COMPRESORES).

5.9. RESULTADOS (VALIDACIÓN)

SECOM da como resultado los siguientes puntos:

- 1.- Para un análisis de sistema nuevo de distribución de aire, nos da tipo, capacidad del compresor, sistema de secado si es necesario, dimensiones del tanque recibidor, las dimensiones de la tubería, accesorios de línea recomendados y posibles sistemas de enfriamiento.
- 2.- Para un sistema ya instalado, se realiza un análisis energético y se dan las recomendaciones necesarias para que la distribución de aire comprimido sea la adecuada, y por consiguiente se tiene un ahorro energético.
- 3.- Da información general de un sistema de aire comprimido, en forma de shell, para que el usuario pueda aprender a un más sobre el tema.

5.10 CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema fue problemático, ya que se dificultó la obtención y recopilación de la información, por que no era muy sencillo que las empresas de compresores visitadas, dieran información a personas ajenas a la empresa.

La amplitud de los sistemas de distribución de aire comprimido es tan amplia que SECOM fue restringido a la pequeña y mediana industria, aunque claro, está diseñado para aplicaciones de gran tamaño.

El sistema experto, presenta la información contenida de una manera tal que el usuario asimile en gran parte lo visto, por lo cual, se optó por desarrollar el sistema experto en LEVEL 5 OBJECT, por que es un lenguaje de alta programación orientado a objetos y eventos, con el fin de desarrollar sistemas expertos, sistemas expertos con tutorial y sistemas tutoriales.

Este sistema experto aún se puede ampliar, en lo referente a la distribución y disposición de las unidades empleadas en la sala de compresores, es decir, como acomodar de la mejor manera o forma las unidades empleadas en el sistema de aire comprimido implementado o a implementar.

La metodología y la técnica utilizada para la construcción y diseño de este SECOM permite enfrentar con una gran diversidad los problemas en diferentes ramas del conocimiento de manera mas flexible.

El desarrollo del SECOM automatiza gran parte de los procesos utilizados en el análisis dinámico de procesos, reduciendo significativamente los tiempos necesarios para solucionar problemas en este campo del conocimiento y dando mayor flexibilidad a los datos de entrada para el funcionamiento del sistema.

Las pruebas hechas demuestran que cumplen con su función de realizar algunas tareas del Experto Humano, así, como de un auxiliar de enseñanza de la materia.

Se demuestra que puede constituir un vehículo idóneo para la difusión de nuevos conocimientos.

El prototipo terminado es muy fácil de transportar y copiar, aumentando así el grado de alcance del mismo.

5.11. RECOMENDACIONES

Este sistema experto SECOM se puede ampliar en lo referente a la distribución y ubicación de las unidades dentro de la sala de compresores, es decir, buscar la mejor disposición de cada una de las unidades que se van a emplear o se emplean en un sistema de aire comprimido.

Otro punto de interés muy importante para tema de tesis dentro de los sistemas expertos, es el referente a recuperación de calor o cogeneración de energía. Este tema es muy importante hoy en día, debido a los altos costos para la adquisición de esta y el no aprovechamiento de la misma, esto es, en cualquiera de sus formas.

BIBLIOGRAFÍA (Libros y Manuales)

(1) " EXPERT SYSTEMS AND APPLIED ARTIFICIAL INTELLIGENCE " .

EFRAIN TURBAN

ED. MACMILLAN

1992.

(2) " SISTEMAS EXPERTOS " .

PARTE 2

DIETER NEBENDAHL.

ED. MARCOMBO

ESPAÑA, 1991.

(3) " EXPERT SYSTEMS FOR EXPERTS " .

KAMRAN PARSAYE, MARK CHIGNELL.

ED. MARCOMBO

ESPAÑA, 1991.

(4) " MANUALES TÉCNICOS Y DE INSTRUCCIÓN PARA CONSERVACIÓN DE ENERGÍA " .

ED. IDAE (INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA).

TOMO 5, España, 1983

(5) " COMPRESORES (SELECCION, USO Y MANTENIMIENTO) " .

AUTOR: RICHARD W. GREENE

ED. WILEY.

1988

(6) WILRUJK, BELGIUM " COMPRESSOR HANDBOOK " .

(7) " FISICA " .

VOLUMEN II

AUTOR: ROBERT RESNIK.

LIMUSA, 1982.

(8) ATLAS COPCO. " MANUAL SOBRE AIRE COMPRIMIDO Y SU APLICACIÓN A LA INDUSTRIA " .

Venezuela, 1982.

(9) ATLAS COPCO. " INTRODUCCION AL AIRE COMPRIMIDO ".

belgica.

(10) ATLAS COPCO. " MANUAL SOBRE LA INSTALACION DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO "

Venezuela, 1983.

(11) ATLAS COPCO. " ACCESORIOS IMPORTANTES DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO ".

Belgica, 1982.

(12) ATLAS COPCO. " HERRAMIENTAS DE AIRE COMPRIMIDO ".

Venezuela, 1982.

(13) ATLAS COPCO. " COMPRESSED AIR ".

(14) CHICAGO. " MANUAL DE AIRE COMPRIMIDO ".

USA.

(15) CHICAGO. " ANALISIS PARA LA INSTALACION DE LOS SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO ".

USA, 1983.

(16) CHICAGO. " MANUAL DE MANTENIMIENTO DE COMPRESORES ".

USA, 1982.

(17) FOLLETOS DE LA EMPRESA DE COMPRESORES CHAMPION Y CHICAGO.

(18) FOLLETOS DE LA EMPRESA DE COMPRESORES ATLAS COPCO..

(19) AYUDA TECNICA Y ASESORIA DE LOS EXPERTOS EN COMPRESORES, ACCESORIOS, HERRAMIENTAS Y SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO DE LAS EMPRESAS ATLAS COPCO Y CHICAGO.