



Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos



Dirección General de Institutos Tecnológicos

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN.

TESIS

**“DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA
EVALUACIÓN DE COMPRESORES”**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA ENERGETICA

PRESENTA:

ING. MARCO ANTONIO FUENTES LÓPEZ

ASESOR

Dr. ROBERTO RAMÍREZ MESA.



Minatitlán Veracruz, México. Mayo Del 2008

DEDICATORIA

DEDICATORIA.

A Dios

Gracias por haberme permitido culminar un objetivo más en la vida y por la vida que me has permitido disfrutar.

Gracias...

A mis padres Marcos Fuentes Alonso y Victoriana López Toral que gracias a sus sabios consejos y a sus esfuerzos han hecho posible que culminara esta meta que me planteo hace mucho. Muchas gracias padres por su confianza, por saberme escuchar y saberme entender.

Gracias...

A mi esposa Erika Nayeli Bautista Sandoval gracias por haber estado conmigo desde el momento que inicio ésta aventura, por haberme apoyado en los momentos difíciles y sobre todo gracias por estar a mi lado.

Gracias...

A mis hermanos Consuelo Fuentes López, Esteban Fuentes López y Felipe Fuentes López Que siempre me apoyaron, que tuvieron fe, confianza y esperanza en mí.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS.

En especial este agradecimiento al Dr. Roberto Ramírez Mesa por todos los conocimientos que obtuve al brindarme su apoyo, por estar siempre en el momento indicado por brindarme su amistad, confianza y un gran cariño como amigo.

Agradezco al Dr. Lázaro Valentín García Aguilar, por su gran apoyo experiencias, conocimientos, consejos, complementos y su gran amistad que fueron indispensables para el desarrollo de la presente.

Al M.C. Rene Yamamoto Arana, por transmitir sus conocimientos y experiencias, que es legado que tomo de usted así como su amistad y consejos.

A mis amigos, Erica Iadrón, Andrés Molina, Jesús Villaseca, Víctor Hugo Ortiz, Jessica Bautista, Isidro, Arroniz, Betanzos, Omar, Evelyn y todos los que por su amistad incondicional les estoy muy agradecido

RESUMEN

RESUMEN

En esta tesis se encuentra el resultado del desarrollo del diseño y aplicación de un software para la simulación de compresores para complementar las carreras de ingeniería Electromecánica, ingeniería industrial así como el postgrado de ingeniería energética, el cual tiene la finalidad de proporcionar una herramienta didáctica para el aprendizaje, comprensión y análisis en temas a tratar en gran parte de estas carreras. El software se desarrollo en el programa Excel añadiendo un complemento de este mismo llamado TPX ambos de la plataforma de Windows XP. El Software fue implementado entre los docentes que han impartido asignaturas como termodinámica y transferencias de calor en el instituto tecnológico de Minatitlán así como personal que ha manejado equipos termomecánicos para que la simulación sea lo mas posible cercana a la realidad. Para lograr lo anterior se hizo un estudio exploratorio sobre los equipos termomecánicos existente en la zona sur para comprobar los resultados del simulador herramientas es por ello que el aprendizaje del alumnado será en una forma muy interactiva e interesante. La investigación es de tipo experimental descriptiva e inicia en septiembre del 2006 y finaliza en Diciembre del 2007.

ABSTRACT

ABSTRACT

In this thesis is the turn out of the development of the design and application of a software for the simulation of compressor to complement the races of Electromechanical engineering, industrial engineering as well as the post degree of power engineering, which has the purpose of providing a didactic tool for the learning, understanding and analysis in subjects to deal with to a large extent these races. Software development in the Excel program adding itself a complement of this same call TPX both of the platform of Windows XP. Software was implemented between educational which they have distributed subjects like thermodynamics and the heat transferences in the technological institute of personal Minatitlán as well as that has handled termomechánics equipment so that the simulation is but possible the near thing the reality. In order to obtain the previous thing an exploratory study was made on the termomechánics equipment existing in the South zone to verify the results of the simulator tools is for that reason that the learning of the pupils will be in a very interactive and interesting form. The descriptive investigation is of experimental type and initiates in September of the 2006 and finalizes in December of the 2007.

ÍNDICE

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN.	
1.1 Datos Generales.....	5
1.2 Reseña Histórica del instituto tecnológico de Minatitlán.....	5
1.3 Ubicación del instituto tecnológico de Minatitlán.....	7
1.4 Organigrama del instituto tecnológico de Minatitlán.....	8
1.5 Oferta Educativa del instituto tecnológico de Minatitlán.....	10
1.6 Política de calidad y objetivos del instituto Tecnológico de Minatitlán.....	10
1.7 estructura Organizacional del instituto tecnológico de Minatitlán.....	12
CAPITULO II. ANALISIS BIBLIOGRAFICO PARA LA ELABORACIÓN DEL SOFTWARE.	
2.1 Técnicas Educativas.....	16
2.2 Instrucción Programada.....	17
2.2.1 Inteligencia artificial.....	21
2.2.2 Técnicas de simulación.....	22
2.2.3 Tutorial.....	22
2.3 Metodologías para la elaboración de simuladores.....	24
2.3.1 Software educativo.....	25
2.3.2 Metodologías nacionales para la elaboración de simuladores.....	25
2.4 Metodologías para la creación de software.....	25
2.4.1 Elementos del ciclo de vida de un software.....	26
2.4.1.1 Tipos de modelo de ciclo de vida.....	29
2.4.1.1.1 Ciclo de vida lineal.....	29

CONTENIDO	Pág.
2.4.1.1.2 Ciclo de vida con prototipado.....	30
2.3.1.1.3 Ciclo de vida en espiral.....	31
2.4 Sistemas para ingeniería térmica internacionales.....	33
CAPITULO III METODOLOGIA DE EVALUACIÓN ENERGETICA Y EXERGETICA DE UN COMPRESOR.	
3.1 Calculo de compresores centrífugos.....	34
3.1.1 Ventajas y desventajas de los compresores centrífugos.....	44
3.2 Compresores de desplazamiento positivo.....	45
3.3 Cargas, velocidades y pulsaciones del compresor.....	49
3.4 Compresores rotatorios de desplazamiento positivo.....	51
3.5 Condiciones de funcionamiento.....	53
3.5.1 Carga y caballaje del compresor.....	56
3.5.2 Velocidad específica.....	58
3.5.3 Selección de compresores centrífugos.....	59
3.6 Compresor centrífugo de etapas múltiples.....	60
3.7 Métodos para cálculos.....	64
3.8 Control de los compresores centrífugos.....	67
3.8.1 Control de oscilaciones en compresores centrífugos.....	69
CAPITULO IV METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL SIMULADOR DE COMPRESORES CENTRÍFUGOS.	
4.1 Plataforma de operación y programas.....	72
4.1.1 Software para la elaboración de interfases de usuario.....	72
4.1.2 Software para la elaboración de las hojas de cálculo.....	74
4.2 Menú del usuario.....	74
4.3 Ecuaciones Programadas en la evaluación del compresor.....	78
CAPITULO V. IMPLEMENTACION DEL SIMULADOR DE COMPRESORES CENTRÍFUGOS.	
5.1 Diseño de investigación.....	82
5.2 Hipótesis y variables.....	82
5.3 Selección de la muestra.....	82

5.3.1 Muestra de expertos.....	82
CONTENIDO.....	Pág.
5.3.2 Muestra de usuarios.....	83
5.4. Instrumento de medición.....	83
5.5 Cuestionario para expertos.....	83
5.6 Recolección de datos.....	84
CAPITULO VI. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DEL SIMULADOR	
6.1 Presentación de resultados.....	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	92
BIBLIOGRAFIA.....	93
INDICE DE TABLAS	
Tabla 2.1 Fases del ciclo vida.....	32
Tabla 3.1 Tipos de sellos.....	39
Tabla 3.2 Trabajo de la carcasa.....	43
Tabla 3.3 Caracterización de gases.....	53
Tabla 3.4 Método para carga politrópica total.....	61
Tabla 3.5 Valores para la selección preeliminar de compresores centrífugos de etapas múltiples.....	67
 INDICE DE FIGURA	
Figura 1.1 Ubicación del Instituto Tecnológico de Minatitlán, en México.....	7
Figura 1.2 Ubicación del Instituto Tecnológico de Minatitlán, en Veracruz.....	8
Figura 1.3 Organigrama del Instituto Tecnológico de Minatitlán.....	9
Figura 2.1 Ciclo de vida de un software.....	27
Figura 2.2 Subfases del ciclo de vida de un software.....	28
Figura 2.3 Esquema general de operación de una fase.....	28
Figura 2.4 Ejemplo de ciclo lineal para un proyecto de construcción.....	30
Figura 2.5 Subciclo de prototipado.....	31
Figura 2.6 Ciclo de vida en espiral.....	31

Figura 3.1 Los compresores cubren límites amplios para usos en procesos.....	35
Figura 3.2 Flujo de gas de un compresor centrífugo.....	37
CONTENIDO	Pág.
Figura 3.3 La resistencia al flujo se debe sólo a la fricción.....	38
Figura 3.4 La contrapresión fija requiere control cuidadoso.....	39
Figura 3.5 El control antioscilación maneja la contrapresión fija.....	40
Figura 3.6 Los sellos de extremo del eje de compresores centrífugos controlan una serie de presiones con diversos gases.....	42
Figura 3.7 curva del compresor de desplazamiento positivo.....	46
Figura 3.8.1 Montaje estándar en cilindro.....	46
Figura 3.8.2 Compartimiento sencillo.....	47
Figura 3.8.3 Dos compartimientos largos.....	47
Figura 3.8.3 Dos compartimientos cortos.....	48
Figura 3.9 la velocidad específica y el diámetro específico permiten la selección inicial de un tipo definido de compresor de una etapa.....	57
Figura 3.10 Impulsores de una etapa para compresores.....	62
Figura 3.11 Eficiencia de compresores centrífugos de etapas múltiples.....	63
Figura 3.12 Rendimiento de un compresor centrífugo.....	65
Figura 3.13 Perdidas por fricción en cojinetes y sellos.....	66
Figura 3.14 Las aspas de guía de entrada influyen en el rendimiento.....	69
Figura 4.1 Aplicación del TPX, en el la hoja de calculo.....	73
Figura 4.2 Hoja de introducción de datos en Excel.....	74
Figura 4.3 Hoja de resumen de corriente del GV en Excel.....	74
Figura 4.4 Hoja de prueba termotecnica del GV en Excel.....	75
Figura 4.5 Hoja de datos de salida de prueba termotecnica del GV en Excel.....	75
Figura 4.6 Hoja de calculo termoeconomico del GV en Excel.....	76
Figura 4.7 Hoja de calculo termoeconomico del GV en Excel.....	76

ANEXOS..... 94

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La maestría en ingeniería energética, impartida en el Instituto Tecnológico de Minatitlán, tiene entre sus áreas la oportunidad de desarrollar proyectos de estudios en Ingeniería térmica.

Actualmente el instituto tecnológico de Minatitlán emplea métodos de aprendizajes tradicionales y modernos tales como las aulas de cómputo, y según transcurre el tiempo se generaliza mas como herramienta didáctica en la enseñanza de tópicos de termodinámica por ello la creación de un software evaluador de un equipo termomecánico; Desarrollar un software significa construirlo simplemente mediante su descripción. Está es una muy buena razón para considerar la actividad de desarrollo de software como una ingeniería. En un nivel más general, la relación existente entre un software y su entorno es clara ya que el software es introducido en el mundo de modo de provocar ciertos efectos en el mismo. Aquellas partes del mundo que afectarán al software y que serán afectadas por él será el Dominio de Aplicación. Es allí donde los usuarios observarán si el desarrollo del software ha cumplido su propósito. Una de las mayores deficiencias en la práctica de construcción de software es la poca atención que se presta a la discusión del problema. La versatilidad de las computadoras y su rápida evolución hace que exista un repertorio de problemas en constante cambio y cuya solución se de a través de software por ello la enorme importancia de la creación de este software.

Por esto se pretende con esta obra extender en el área de conocimiento y la practica ya que se programara, en un ambiente amigable además se probara en equipos reales y se les aplicara a los estudiantes para que simulen evaluar térmicamente y exergeticamente un equipo termomecánico con ello se pretende que sea el equivalente de evaluar el equipo como si este estuviera trabajando en áreas poco permisibles para lograr la evaluación. El desarrollo de este software estará dirigido a alumnos y profesionistas que conozcan parte de la ingeniería térmica o que tengan contactos con esta clase de equipos termomecánicos o bien conocimientos avanzados de los mismos, el software contara con una ayuda auxiliar para el usuario en el uso del software y dado que en la actualidad no se cuenta con un software de

tal magnitud se pretende impactar en la comunidad estudiantil en la simulación de evaluaciones de compresores en condiciones que serian poco úsiles y reales para observar el comportamiento térmico de estos equipos así como en el entorno industrial para realizar toma de decisiones importantes de esta clase de equipo termomecánico.

El presente será aplicable al aula de simulación que se desarrolla en área de metal mecánica en el instituto tecnológico de Minatitlán ya que es una necesidad para el desarrollo del aula de simulación.

Por ello realizare el software para la evaluación de compresores con el fin de mostrar evaluaciones que se llevan acabo en áreas operativas industriales en un aula así como para facilitar la evaluación de los equipos en las mismas áreas.

Por lo tanto el objetivo general del presente es:

- ✚ Diseñar un programa que permita realizar cálculos aplicados a la ingeniería térmica sobre las bases de las metodologías existentes.

Se cuentan con los siguientes objetivos particulares

- ✚ Programar las metodologías de análisis térmicos para la evaluación de compresores.
- ✚ Probar el software en el área de funcionamientos de compresores para visualizar el desarrollo de la evaluación tanto en el área como en el software para darle una mayor precisión con los resultados obtenidos en el área.
- ✚ Aplicarles el software a los estudiantes de las diferentes ingenierías a nivel licenciatura: ingeniería electrónica, ingeniería química e ingeniería electromecánico para obtener un porcentaje de aceptación.
- ✚ Dejar las bases para la creación y proyección de nuevas versiones de software de simulación en materia de metodología diseño y evaluación.

Ya que actualmente no se tiene un software educativo para la evaluación de equipos termomecánicos en la institución en el que los alumnos se apoyen para

realizar estudios energéticos y exergéticos en las diferentes ingenierías que llevan estudios sobre equipos termomecánicos.

La hipótesis de investigación tenemos la siguiente:

¿Qué porcentaje de aceptación tendrá el software en las diferentes ingenierías, las cuales utilizaran el software como herramienta educativa?

El presente es viable técnicamente en una amplia gama se necesita que el alumno cuente con conocimientos básicos de Excel, con una computadora personal para su instalación comprensión y ejecución del software, al igual que par si desarrollo se requiere un portátil con el paquete de office, un software adicional para el Excel denominado (TPX) axial como una gran variedad de libros y archivos electrónicos, es viable económicamente ya que los gastos de inversión en la creación del software serán mínimos requiere una gran inversión de horas hombre pero económicamente no impacta significativamente y es viable socialmente por que es una necesidad para las ingenierías a nivel licenciatura de ingeniería electrónica, ingeniería química, ingeniería ambiental y ingeniería electromecánico, y por el lado del los recursos humanos se cuenta con personal con conocimientos eficientes para asesorar el desarrollo del presente.

El desarrollo del presente proyecto no tiene un impacto ambiental negativo si no todo lo contrario ya que los estudios, evaluaciones y cálculos en un equipo termomecánico que se evaluara en el software nos proporcionara resultados en los cuales nos basaremos para realizar una mejor toma de decisiones para ajustar los equipos y que a su vez estos al ajustarlos como cualquier equipo trabajara eficientemente y al trabajar eficientemente un equipo consume solo la energía necesaria que requiere para su funcionamientos y procesos que este lleve acabo por lo tanto todos los KW que dejen de consumir estos equipos se verán reflejados como un impacto ambiental positivo. Ya que al dejar de gastar energía son menos átomos de carbonos emitidos a la atmósfera.

El porcentaje de aceptación del software será del 80% o más para alumnos con conocimientos de evaluación de equipos termomecánicos a nivel de licenciatura.

Esta tesis teóricamente se soportara de los conocimientos impartidos por los catedráticos que integran el programa de estudios de la maestría en ingeniería energética, se tomara este tiempo como base para el desarrollo de los capítulos que comprende la tesis. Toda la información así como los datos y la metodología se llevaran durante este periodo, por lo que al final de la maestría se finalizara la tesis y se estará entregando terminada la tesis para una pronta obtención del grado por lo tanto tiene una duración aproximada de 2 años.

Dentro del tipo de modelación y paquetes que se encuentran se dispone de los siguientes:

EXCEL

TPX

Y si en algún momento se llega a utilizar otro paquete se añadirá a la lista anterior.

Ya que las inversiones que se realizan fundamentalmente no son para obtener utilidades en el futuro, si no que es con un fin educativo no se requiere realizar estudios para determinar las inversiones.

Los métodos de optimización que se podrán utilizar en el desarrollo del software son los descritos en la metodologías ya establecidas ahora se utilizaran ecuaciones ya contenidas en otros paquetes como Matlap, Métodos Numéricos, Solver, Excel y TPX.

Los recursos materiales que se necesitan tales como una Lap Top, igualmente a las empresas para poder tomar las mediciones de datos reales y así poder simular en condiciones reales los equipos termomecánicos ya que en la empresa es donde se cuenta con este tipo de equipos industriales.

La presente tesis se planea terminar en enero del 2008 es por ello que le dedicaremos todo el tiempo necesario y le inyectaremos toda la atención para terminarla con gran éxito.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN.

1.1 Datos generales

Dirección: Bulevar Institutos Tecnológicos s/n Colonia: Buena vista norte
Municipio: Minatitlán, Entidad Federativa: Veracruz Código Postal. 96868 Apartado Postal 777 Teléfonos 01-922 2 43 39 y 2 43 45 Fax: 2 43 36 Internet: www.itmina.edu.mx

1.2 Reseña histórica del instituto Tecnológico de Minatitlán.

Existe una reseña histórica que se encuentra en el sitio Web del instituto Tecnológico de Minatitlán y comenta lo siguiente: El constante empeño del gobierno federal durante la década de los setentas para incrementar la preparación de la juventud del país, y el afán de descentralizar la enseñanza especializada, ha dado como resultado la proliferación de escuelas de educación superior. El Instituto Tecnológico de Minatitlán, fue producto de minucioso y exhaustivo estudio socioeconómico en el sureste del país que determinó la necesidad de construirlo en la región comprendida entre Minatitlán, Coatzacoalcos, Villahermosa y Acayucan, poblaciones en ese entonces carentes de instituciones de estudios superiores en la rama de la tecnología.

El C. Lic. Luís Echeverría Álvarez, candidato a la presidencia de la República, al realizar campaña presidencial en el año de 1970 y encontrándose en una junta de trabajo en el Teatro Auditorio de la Sección No. 10 del S.T.P.R.M., al escuchar una petición del Dr. Esteban Hernández, director en ese entonces de la Escuela Secundaria Técnica Agropecuaria, amenazada con desaparecer, provocó en el una gran inquietud a lo que respondió:"Antes de que concluyera de hablar el Dr. Esteban Hernández, antes de que acabara de exponernos el problema que trató, mandé a hablar a la Ciudad de México con funcionarios amigos, a efectos de rogarles me dieran información sobre el asunto. No quiero en estos momentos lanzar una opinión y menos un compromiso, pero aprovecho la oportunidad para rogar a los distinguidos elementos técnicos aquí presentes, que me ayuden a formular, dentro del Instituto de Estudios Económicos, Políticos y Sociales de nuestro partido, un

proyecto tecnológico en esta región, que no solo prepare jóvenes con aptitudes para ser empleados, sino también a obreros calificados para servir en este emporio industrial que además, tenga una sección importante dedicada a los estudios ganaderos y de los campesinos de todo el sureste de México".

Más tarde el entonces candidato volvió a expresar: "Yo quiero contraer ante ustedes el compromiso, siempre que me aporten sus conocimientos, sus luces y su voluntad. . . pero vamos a poner desde luego manos a la obra.

La exhortación tuvo respuesta inmediata, los señores industriales, representaciones sindicales, el entonces gobernador del estado C. Lic. Rafael Murillo Vidal, el ex-gobernador C. Lic. Marco Antonio Muñoz y algunos particulares más, aportaron cantidades de dinero que permitieron la creación del Tecnológico. Fue nombrado un patronato pro-construcción que presidió el Ing. Antonio Dovalí Jaime, para que administrara el dinero donado. A las 10:45 del día 18 de Marzo, el Lic. Luís Echeverría Álvarez, presidente de la República, se hizo presente en los terrenos del Km.277 de la Carretera Transísmica, allí se colocaría la primera piedra de lo que sería el Instituto Tecnológico Regional. En este acto el presidente de la República mencionó: "Aquí mismo, siendo el candidato presidencial contraí el compromiso de poner la primera piedra de una gran institución técnica, destinada a la juventud del sur de Veracruz, a la juventud de toda la nación, de aquí podrá prepararse con la eficiencia técnica que la patria necesita. En asamblea pasada, un distinguido conjunto de empresarios mexicanos, la institución Petróleos Mexicanos y el Gobierno de Veracruz, contrajeron el compromiso de contribuir a este Instituto Tecnológico, cuya primera piedra colocaré en algunos minutos, pero sepa la juventud del sur, que esta piedra constituye para mí, una promesa de que el Instituto habrá de construirse pronto y eficazmente y aunque los problemas inherentes de la construcción no nos permitieran inaugurarlos dentro de pocos meses, el próximo 18 de Marzo vendré, aunque sea solo unos instantes a descubrir la placa que inicie las actividades de este instituto. Dedicamos este Instituto, sobre todo, a los hijos de los trabajadores y los campesinos para que se preparen aquí con convicción revolucionaria, pensando que la patria no solo se edifica con buenos deseos, sino con los esfuerzos perseverantes de individuos preparados. "QUE SEA POR VERACRUZ Y POR MEXICO." De esta

manera nace el Instituto Tecnológico Regional "Benito Juárez" de Minatitlán, Ver., abriendo sus puertas a la juventud estudiosa de la región el 17 de Septiembre de 1972.

1.3 Ubicación del instituto tecnológico de Minatitlán.

El Instituto Tecnológico de Minatitlán esta ubicado en la CD. De Cosoleacaque, Municipio del estado de Veracruz, México. Es parte integrante de un total de 96 Institutos Tecnológicos que se encuentran distribuidos por los 32 estados del país.



Figura 1.1.- Ubicación del Instituto Tecnológico de Minatitlán, en México.

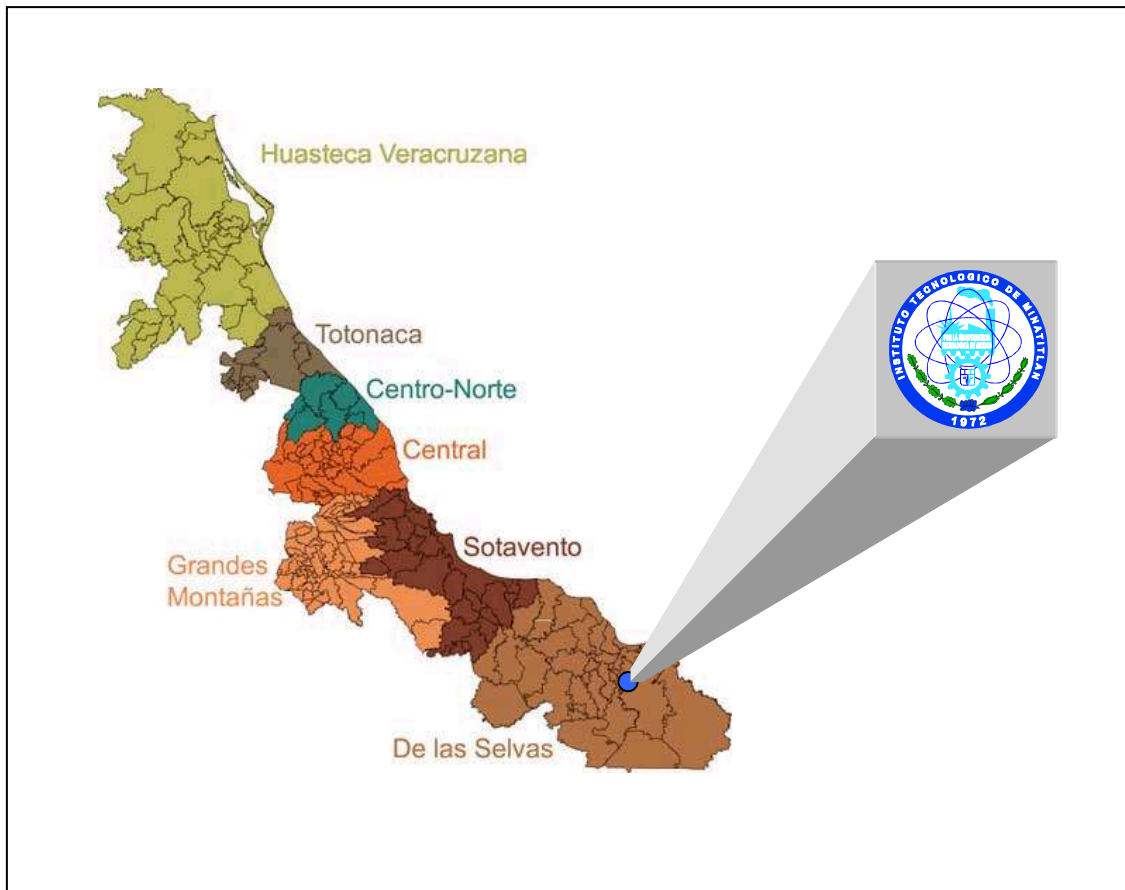


Figura 1.2.- Ubicación del Instituto Tecnológico de Minatitlán, en Veracruz.

El Instituto Tecnológico de Minatitlán se localiza en el extremo Sureste del Estado de Veracruz, en la Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec, a 32 Kilómetros de la desembocadura del Río Coatzacoalcos en el Golfo de México, su ubicación se encuentra en La ciudad de Minatitlán.

1.4 Organigrama del instituto Tecnológico de Minatitlán.

El organigrama del Instituto tecnológico de Minatitlán cuenta con una estructura del sistema administrativo dividido en tres subdirecciones

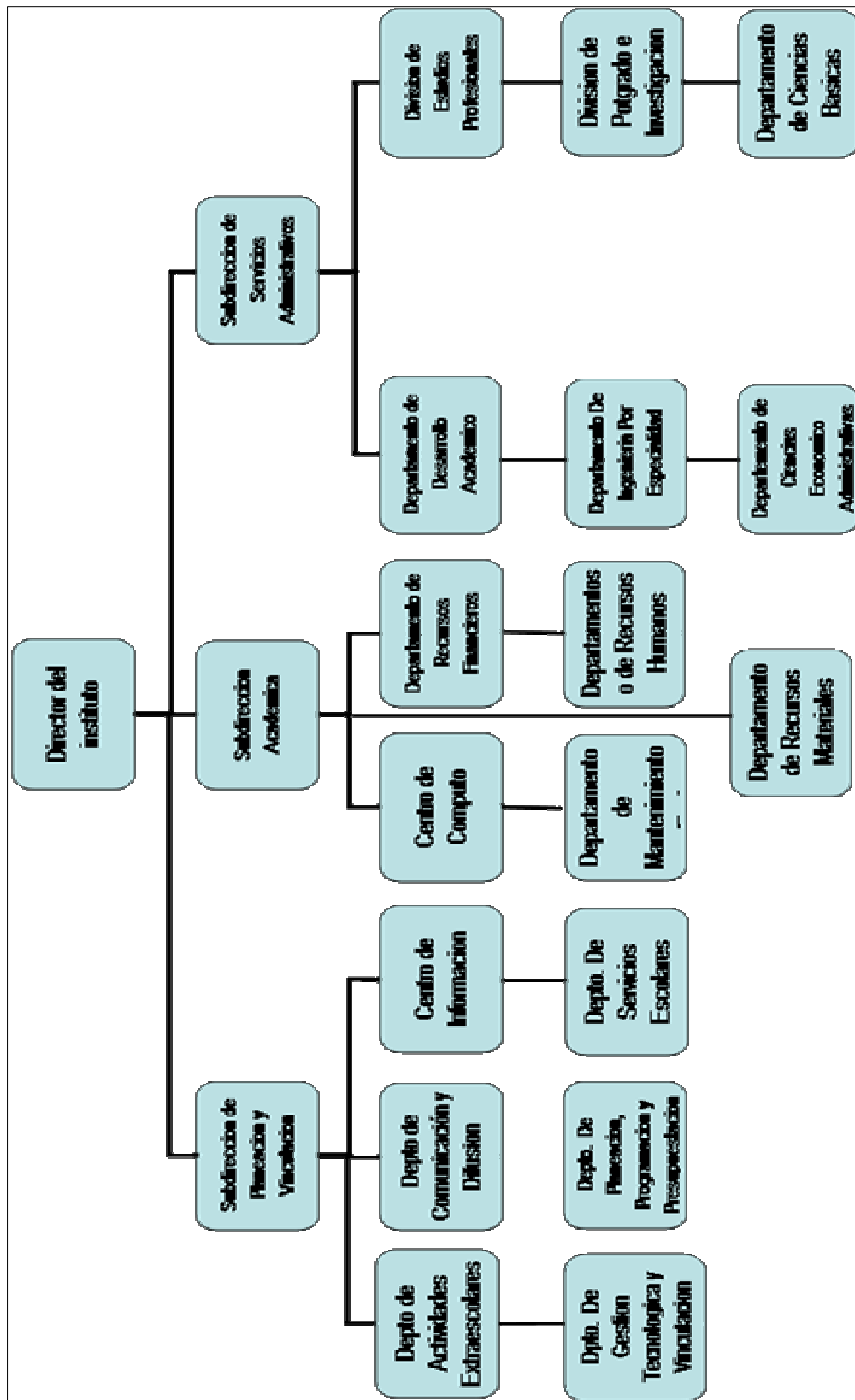


Figura 1.3 Organigrama del Instituto Tecnológico de Minatitlán.

1.5 Oferta Educativa del instituto Tecnológico de Minatitlán.

En la actualidad, el Instituto ofrece 7 opciones a nivel licenciatura, 3 especialidades y 3 postgrados. Licenciaturas: Ingeniería Química, Ingeniería Industrial, Ingeniería Ambiental, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Licenciatura en Administración, Postgrados: Maestría en Ingeniería Ambiental, Maestría en Ingeniería Electrónica, Maestría en Ingeniería Energética. Con esta oferta educativa, el instituto satisface la demanda de educación superior tecnológica en la región del sur de Veracruz, ya que sus alumnos provienen de los municipios de Acayucan, Aguadulce, Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Chinameca, Hueyapan de Ocampo, Hidalgotitlán, Isla, Ixhuatlán del Sureste, Jáltipan, Jesús Carranza, Juan Díaz Cobarrubias, Las Choapas, Mecayapan, Minatitlán, Moloacán, Nanchital, Oluta, Oteapan, Pajapan, Rodríguez clara, Sayula, San Juan Evangelista, Soconusco, Soteapan, Texistepec, Zaragoza y algunos otros de los estados de Oaxaca y Tabasco, además de que, encontrándose en el corredor industrial más grande de América Latina, al integrarse sus egresados al sector laboral constituyen el desarrollo tecnológico, económico y social del entorno

1.6 Política de calidad y objetivos del instituto Tecnológico de Minatitlán.

Misión

Ser una institución de educación superior tecnológica de calidad, que promueve el desarrollo nacional en el ámbito de la globalización.

Visión

Ofrecer servicios educativos con calidad para formar profesionales que contribuyan al desarrollo integral de la sociedad.

La Organización establece el compromiso de implementar todos sus procesos orientándolos hacia la satisfacción de sus Alumnos sustentada en la Calidad del Proceso Educativo, para cumplir con sus requerimientos mediante la eficacia de un Sistema de Gestión de la Calidad y de mejora continua, conforme a la norma ISO 9001:2000/NMX-CC-9001-IMNC-2000.

Certificación en la norma ISO 9001:2000.

En el año 2004, iniciamos un Sistema de Gestión de la calidad, considerando la norma internacional ISO-9001:2000, con el propósito de lograr para el año 2005, la certificación de nuestros procesos.

A la fecha el Instituto cuenta con un Manual del Sistema de Gestión de la calidad, basado en esta norma internacional. En el proceso se han formado auditores internos que han realizado ya varias acciones de auditoría a los procesos especificados en el manual. Así mismo el semestre enero-junio 2005, recibimos auditorías externas que se complementarán con las realizadas en el periodo agosto-diciembre 2005. Hasta lograr la CERTIFICACION, lo que sin duda significará un avance hacia la consolidación de nuestra institución.

Objetivos

- ✚ Promover el desarrollo integral y armónico del educando en relación con los demás, consigo mismo y en su entorno mediante una formación que le permite forjarse una mente y un cuerpo sanos.
- ✚ Atender la demanda superior y de postgrado con alta y reconocida calidad, en las áreas industrial, agropecuaria, y de servicios en la región sur de Veracruz.
- ✚ Compartir con la comunidad la cultura científica, técnica y humanista, así como la recreación y el deporte.
- ✚ Ofertar perfiles profesionales que integren las necesidades específicas de la región, para que el egresado contribuya de manera satisfactoria al desarrollo de cada comunidad, en especial en la planta productiva.
- ✚ Actualizar permanentemente al personal docente y administrativo para favorecer el desarrollo armónico de toda la comunidad tecnológica.
- ✚ Ofrecer a los sectores productivos y educativos; una amplia gama de servicios en las esferas de la investigación y el desarrollo científico y tecnológico de organización del trabajo, destacando los de formación,

capacitación y actualización profesional; la innovación, la diversificación, la adaptación, la adquisición y la difusión tecnológica.

1.7 Estructura organizacional del instituto tecnológico de Minatitlán.

El Instituto Tecnológico debe desarrollar las actividades académicas con calidad, de tal manera que responda a las necesidades del entorno, de acuerdo a la oferta de carreras de que dispone. Para el cumplimiento de estas actividades, se deben de conjugar de manera funcional y organizada todos los recursos humanos, materiales, financieros y de servicios de que dispone.

Por otro lado, es innegable que la infraestructura física y el equipamiento con que cuenta, son parte fundamental para que se lleve a cabo el proceso enseñanza-aprendizaje.

El Instituto Tecnológico de Minatitlán cuenta con 27 edificios construidos en una superficie total de 128,090.71 m². Los edificios albergan oficinas administrativas, aulas, laboratorios, talleres, etc.

A continuación se presenta una relación de los edificios que integran el ITM con la finalidad de que se facilite la localización de aulas, laboratorios, talleres, oficinas, etc.

Edificio ACA Subdirección Académica, División de Estudios Profesionales, Departamento de Ciencias Básicas, Departamento de Ciencias Económico Administrativas, Departamento de Desarrollo Académico y Sala de Titulación.

Edificio ACB Dirección, Subdirección de Servicios Administrativos, Sala de juntas, Subdirección de Planeación, Departamento de Comunicación y Difusión, Departamento de Planeación, Programación y Presupuestación, Departamento de Recursos Financieros, Departamento de Recursos Humanos, Departamento de Servicios Escolares y Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación.

Edificio A	Planta Alta: Aulas 1, 2,3 y 4. Planta Baja: Aulas 5,6, y 7; Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica.
Edificio B	Salón de Artesanías, Delegación Sindical, Laboratorio de Análisis Clínicos, Consultorio Medico y Aula 8.
Edificio C	Aulas 9, 10, 11, 12 y 13.
Edificio D	Aulas 14, 15, 16 y Sanitarios.
Edificio D	Laboratorio de Química general y Laboratorio de Investigación del Medio Ambiente.
Edificio E	Aulas 17, 18, 19 y 20.
Edificio F	Sala Audiovisual, Planta Alta: aulas 21, 22, 23, 24. Planta Baja: aulas 25 y 26.
Edificio F	Laboratorio de Química Analítica, División de Estudios de Postgrado, Aulas de postgrado 1y 2.
Edificio G	Local para equipo electroneumático, local para investigación de postrado y Comité de Alumnos.
Edificio G	Aulas 27, 28, 29 y 30. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
Edificio H	Departamento de Ingeniería Metal- Mecánica, Aula de Bombas y Taller de Electromecánica.
Edificio H	Planta Alta: Aulas 31, 32, 33, 34 y 35. Planta Baja: Aulas 36, 37, 38 y 39.

Edificio I	Planta Alta: Aulas 40, 41, 42, 43 y 44. Planta Baja: Aulas 45, 46 y 47; y Laboratorio de Idiomas.
Edificio J	Departamento de Recursos Materiales y de Servicios, Departamento de Mantenimiento de Equipo y Almacén.
Edificio J	Laboratorio de Instrumentación Digital, Laboratorio de Instrumentación Neumática, Departamento de Actividades Extraescolares y Aula 48.
Edificio M	Cafetería.
Edificio O	Centro de Información.
Edificio Q	Laboratorio de Análisis Industriales.
Edificio S	Departamento de Sistemas y Computación, Laboratorio de Cómputo.
Edificio V	Cubículos para los docentes.
Edificio X	Laboratorio de Química Pesada.
Edificio X1	Cuarto de Caldera.
Edificio Y	Departamento de Ingeniería Industrial y Laboratorio de Ingeniería Industrial.
Edificio I. E. 1	Impresos, Cuarto oscuro, Microprocesadores, Analógica Avanzada y Potencia.

Edificio I. E. 2 Robótica, Fibra Óptica, Computación Digital Avanzada e Investigación.

Además de estos edificios mencionados, se cuenta con áreas deportivas, áreas verdes, estacionamientos y una Plaza Cívica.

Por otro lado, para responder con calidad y eficiencia al proceso educativo y a las expectativas sociales, el ITM cuenta con avanzadas formas de organización y administración del trabajo a través, de una estructura por subdirecciones conformada por departamentos. Toda la información relacionada con la institución se obtuvo de la página www.itmina.edu.mx.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO PARA LA ELABORACIÓN DE SOFTWARE.

2.1 Técnicas educativas.

Las técnicas de enseñanza no son la mismas hoy que hace 20 años y mucho menos que hace 40 años, han evolucionado desde los tiempos de Sócrates, el cual consideraba la expresión oral y el dialogo como el mejor medio de enseñanza, pero con paso del tiempo y debido a las circunstancias se han adoptado y adaptado a los medios nuevas técnicas de enseñanza. Por su constitución en el tiempo podemos discriminar a los técnicas de enseñanza, primeramente con Sócrates y el uso de la expresión oral y el dialogo, a la par en el mundo oriental de esa época utilizaba la palabra escrita únicamente en el mundo de los negocios y la literatura sagrada. El siguiente evento fue la aparición de las escuelas, primero atendida por familiares y después por personas entrenadas para educar, siendo principalmente la iglesia la gestora de este movimiento, todo esto hasta la llegada de la imprenta que revoluciono la difusión de la información escrita que hasta el día de hoy sigue siendo el principal medio de de difusión del conocimiento no así la única, pues el cine la radio, la televisión, la instrucción programada, la inteligencia artificial, la simulación y los centros de recuperación de información son técnicas de vanguardia en la actualidad.² . Todas las técnicas de enseñanza están basadas en el método científico para su implementación por los maestros y mejoradas a través de la experiencia y la practica de cada una por los especialistas en el desarrollo de modelos y técnicas de aprendizaje. Una característica común del aprendizaje es el intercambio comunicativo informativo entre maestros y alumnos; teniendo dos fases esenciales: a) la comunicación de nuevos conocimientos, y b) el control de adquisición de estos conocimientos. La primera fase ha tenido y tiene día a día la necesidad de crear herramientas que provean al docente y faciliten su labor, y es que podemos decir que aun cuando los libros cumplen esta función no son suficientes en todas la condiciones, un ejemplo claro es el uso de la televisión como herramienta principal de enseñanza en sistemas de estudios llamados Tele secundarias, o el uso de materiales didácticos en el instituto tecnológico de Minatitlán en su carrera de Ingeniería Industrial, donde los libros no son sustituidos pero el

docente presencial sí; y de manera general el uso de la radio, televisión, proyectores y ahora el Internet. Todo lo anterior responde a la necesidad de crear un modelo educativo institucional, es decir, una estrategia que funcione para las mayorías. El tema se desarrollo del libro proceso del aprendizaje del autor Rodríguez Miguel.

2.2 Instrucción programada.

La instrucción programada es una herramienta de aprendizaje que se restringe comúnmente a temas que resuelven necesidades específicas y desarrollan de un modo fundamental habilidades; es decir el programa toma el lugar del tutor individual y le enseña a cada alumno en particular. Esta técnica fue desarrollada por Pressey en 1927, y consiste en mostrarle al estudiante un pequeño segmento de información, para después hacerle una pregunta al respecto y confirmarle su respuesta. Con esta herramienta de enseñanza el control de la adquisición de la información es aparentemente efectivo pues disminuye el tiempo de aprendizaje, tal como lo cita Enrique García Gonzáles en su libro Técnicas Modernas de la educación.

El autor nos describe que la enseñanza es aumentar las habilidades y dirigir las condiciones en que se realiza el aprendizaje. Este trata las modificaciones en la conducta, que son resultados de la pericia o las pruebas; el aprendizaje es creciente y lleva al educando de un nivel a otro de sabiduría.

A menudo se dice que la experiencia es el gran maestro. Esto significa que la situación dentro del ambiente del hogar, escuela y medio geográfico, precisa lo que este aprenderá y, como resultado, el tipo de persona que en lo futuro será.

Esta enorme relación del aprendizaje hacia las circunstancias de la vida, implica una gran responsabilidad para todos los seres humanos. El aprendizaje no es un fenómeno que se de espontáneamente; es algo que sucede bajo ciertas condiciones las cuales podemos observar. Más aun muchas de las veces estas condiciones pueden ser alteradas y controladas, lo que nos lleva a considerar la posibilidad de utilizar un método científico para guiar dicho aprendizaje. La instrucción programada es un empeño en este sentido.

Una de las características comunes de toda la educación humana, es el intercambio en la comunicación de información entre maestro y alumnos. En la prehistoria utilizaron casi exclusivamente la comunicación personal. Con el paso del tiempo se ideó la manera de interpretar y almacenar el conocimiento verbal a través de la impresión de libros; actualmente, la tendencia es mayor hacia la utilización de técnicas de comunicación masiva. Esto ha creado una serie de problemas los cuales debe enfrentar la tecnología de la educación.

Hablando generalmente decimos que la enseñanza tiene dos fases esenciales: la comunicación de nuevos conocimientos y el control de la adquisición de estos conocimientos.

Con lo que respecta a la primera fase la utilización de los medios (radio, televisión, etc.) han facilitado la presentación de la información haciendo posible su difusión a un gran número de persona.

Uno de los problemas mas graves de la educación actual es cuanto al control de conocimientos en todo y cada uno de los educandos. El acelerado avance científico y técnico, ha dado lugar a un notable incremento de los temas que la instrucción tecnológica debe abordar, podemos notarlo no solo en las nuevas materias que las universidades e institutos incluyen en sus programas, también en el incremento de temas aumentando los contenido de los cursos tradicionales; con lo anterior, la instituciones educativas se ven forzadas en enseñar e impartir un institución mas amplia. Por otro lado la enseñanza se dirige un número cada vez mayor de personas, con lo cual se evitan la instrucción individual los resultados son obvios:

1.- Adquisición de conocimientos que en muchos casos se hace rápidamente absolutos.

2.- No desarrollan habilidades suficientes para manejar y aplicar dichos conocimientos.

3. No quedan suficientemente preparados para resolver de inmediato problemas específicos de la práctica profesional.

Nuestro tema se restringe comúnmente a temas que resuelvan necesidades específicas y desarrollen fundamentalmente habilidades. En la enseñanza convencional la participación en clase es:

1. Muy escasa. Como resultado el alumno solo toma ciertas anotaciones, no quedándole claro lo que el maestro dijo (están sugerentemente interpretadas por el alumno).

2. Discontinua. Existen numerosas distracciones para el alumno que ocasiona la interpretación errónea de la información proporcionada.

3. No individual. El instructor dirige la exposición a cierto grupo de la clase.

No se pueden tener en cuenta en las clases masiva, las diferentes necesidades del los estudiantes de manera individual, de una exposición mas lenta o mas rápida, de repeticiones etc.

En la instrucción programada lo que se hace es aparentar la relación entre el tutor individual y un alumno. El programa toma el lugar del tutor individual y le enseña al alumno de forma personal esto es posible gracias a los tres principios básicos de la instrucción programada.

1°. El principio de los pequeños pasos. La información se presenta al alumno en pequeñas dosis fáciles de similar.

2°. El principio de conocimiento de resultado. El alumno recibe respuesta inmediata de todas y cada una de sus preguntas. Esto nos permite una confirmación efectiva de lo que el alumno asimilación de conocimientos obligándolo a desempeñar un papel activo en el aprendizaje.

3°. El principio de la velocidad individual. Esto permitirá tener en cuenta las diferencias de cada alumno, así aprenderán a su propio paso. Si se decide que un programa trata de imitar la conducta de un tutor individual, ¿Cuales deben ser las características de un buen tutor individual? Generalmente se señalan las siguientes:

1°. Un buen tutor comienza en el nivel en el que se encuentra el alumno y no insistes en ir mas allá de lo que el pueda comprender.

2°. El progreso se va dando conforme el alumno lo va manifestando.

3°. La corrección de las respuestas es fundamental, aclarando la equivocación de las mismas.

4°. Es importante que el buen tutor no solo tome la palabra, al contrario de la oportunidad al alumno de encontrar por el mismo las respuestas.

En la época de los cincuenta, Skinner y después otros, sistematizaron los hallazgos de Pressey, desde un punto de vista psicológico. Además, extendieron este principio en las maquinas de auto calificación a textos de auto instrucción, actualmente llamados texto programados, donde se sigue el mismo principio:

1°. Se le muestra al estudiante un pequeño segmento de información.

2 °. Se le pregunta algo al respecto.

3 °. Se le confirma de inmediato su respuesta.

Este segmento de auto instrucción se le llama cuadro. De esta manera se genera los dos tipos esenciales de enseñanza programada el lineal, en que los cuadros se suceden unos a otros; y el ramificado, propuesto por Crowder, en que el estudiante puede seguir uno de varios caminos, de acuerdo con sus respuestas. Se ha declarado hoy en día que ventajas de la instrucción programada son:

a).- Se reduce el tiempo de aprendizaje.

b).- Mayor nivel de aprendizaje.

c).- Efecto positivo en los alumnos.

d).- El maestro juega en nuevo papel en la enseñanza.

De esta manera podemos decir que la instrucción programada es una manera de mejorar la eficiencia de la enseñanza a grupos numerosos de personas; sin menos preciar la instrucción individual². Es así como el estudiante toma parte de pequeños segmento de información, logrando una participación más activa. Requerimos de un poco mas de esfuerzo para la realización de un texto programado, que de un texto convencional, ya que la elaboración de un texto programado es sumamente importante la participación de un gran número de personas que trabaje

en conjunto con el programador. El hecho de que el programa sea ramificado proporciona que el alumno aprenda a través de la explicación que surge después de cometer un error, que cuando procede en forma lineal; algunos especialistas afirman que en este tipo de programas el alumno "aprende a través de sus errores". Este tema se desarrolla del libro la realidad virtual como herramienta en la enseñanza de Roxana pintos y Sonia Mariño.

2.2.1 Inteligencia artificial.

La inteligencia artificial esta ligada principalmente al uso de las computadoras como dispositivo de enseñanza y en la mayoría de las situaciones para sustituir al elemento humano para realizar actividades. La enseñanza no esta exenta del usos de estos dispositivos, siendo utilizados para resolver complejos problemas numéricos así como también para realizar la aplicación de la herramienta de instrucción programada pero de forma automatizada, es decir la realización de tutoriales en sistemas operativos de la computadora.

No fue sino hasta la década de los 70's cuando se inició la comercialización de la computadora y se hizo accesible a distintos ámbitos. Su presencia pronto se hizo notar en el mundo de los negocios pero también en el de la educación, aunque en esta última con ciertos rezagos. Y es así que podemos observar que mientras que en los países del primer mundo es común a su población el empleo de esta tecnología, en países como el nuestro carecemos de esta "cultura".

Lo que realmente nos sorprende es que aún en instituciones universitarias como la nuestra, a pesar de contar con el equipo adecuado, en el mejor de los casos, el uso de la computadora se confina a los "laboratorios de cómputo" y en ellos al manejo de algunos paquetes para el procesamiento de datos. ¿Cómo liberarla de este yugo? ¿Cómo aprender de, con y sobre ella en medio de nuestra cotidianidad? ¿Qué normativas podemos dar al respecto?

Podemos decir entonces que el uso actual de las computadoras en los centros de enseñanza esta confinado a uso de procesadores de texto como Word de Microsoft office y el uso de Power Point de Microsoft office en la creación de

presentaciones; y poniendo el uso de estos paquetes en un primer nivel por su popularidad y utilización entre los estudiantes.

En un segundo nivel podemos considerar el uso que damos a la computadora cuando nos servimos de ella como un apoyo para la instrucción y el aprendizaje. Tal ejemplo claro de ello lo constituyen algunas direcciones de Internet cuando se les visita con este propósito o cuando a través de él formamos grupos de discusión. El tercer nivel de uso, de acuerdo con la tipología del Mtro. Manuel Gándara V., (instructor de estos talleres) lo constituye el software estrictamente educativo.

2.2.2 Técnicas de simulación.

Esta herramienta de enseñanza requiere de la elaboración de un prototipo físico para la comunicación y enseñanza de los conocimientos, dicho de otra manera llevar el modelo de estudio a escala sobre uno real. Este tipo de técnicas se requieren en la comprensión y análisis más detallado de fenómenos físicos en estudio, aun cuando son lo ideal para la enseñanza, pueden tener la desventaja de ser caros y requerir de un mayor tiempo para su realización e implementación.

2.2.3 Tutorial.

El término tutorial tiene que ver con la ayuda y la orientación que se ofrece a alguien, por lo regular en proceso de formación, mediante determinados recursos, técnicas o procedimientos. Como lo explica el autor dr. Ramón ferreiro gravie, en su artículo "tutoriales/software educativo". El tutor ha sido y es en educación el profesor que mediante técnicas específicas conoce a los alumnos y los orienta de una manera directa e inmediata de acuerdo a necesidades y objetivos planeados. De esta manera un asesor de tesis es un tutor que brinda ayuda a un estudiante para su examen profesional. La acción y proceso de asesoramiento y ayuda en la tutoría, en los últimos años se le nombra tutorial a los materiales programados presentados mediante computadoras. Los materiales programados (instrucción programada) son aquellos que presentan el contenido de enseñanza organizado en unidades de información de modo tal que se pueda comprobar de una u otra forma (retroalimentación) inmediatamente hasta qué punto se comprendió lo que se está

aprendiendo, todo lo cual exige la participación activa del alumno (interacción) que no sólo lee, sino que además escribe y responde, es decir hace, sobre la base de la activación de los procesos del pensamiento. Los antecedentes de la enseñanza programada son muy remotos, no obstante se relaciona con el paradigma psicológico del conductismo y su esquema estímulo-respuesta. Los contenidos de enseñanza se "desglosan" en pequeños pasos o unidades (cuadros) en que la complejidad aumenta, de una manera rigurosamente lógica, y en la que la redacción es coloquial de forma tal que se establezca una efectiva comunicación que garantiza: participación activa, retroalimentación inmediata, respuesta sin errores, interés y concentración de la atención en lo que se hace y avance a su propio ritmo.

Software educativo es el otro nombre con el que se conocen los tutoriales. En esencia es lo mismo, aunque algunos hacen diferencias entre ellos. La mayoría lo emplean indistintamente.

Los sistemas multimediales cumplen con los principios didácticos esenciales planeados por la enseñanza programada de fundamentación conductista, pero inspirados en los postulados del cognoscitivismo y el constructivismo contemporáneo superan las limitaciones de aquel al retomar: La interactividad, que se hace mayor y más reflexiva; la retroalimentación inmediata, con una fundamentación más argumentada tanto si se trata de una respuesta positiva como de otra errónea, incluso en este último caso hace posible una mejor atención, individualiza al tener en cuenta diferentes alternativas de "entrada" para aprender algo; una mayor concentración de la atención dado el empleo combinado e integrado de sonido e imagen en movimiento, pero además y es esto lo más importante la activación que se logra de los procesos del pensamiento por el tratamiento pedagógico del contenido de aprendizaje.

Muchas son las ventajas del empleo de tutoriales-software educativos-multimediales en la educación, que ya hoy no se discuten: El respeto al ritmo y el estilo cognitivo del que aprende, el incremento de la actividad, de la atención, el esfuerzo intelectual, la perdurabilidad de lo aprendido en tiempo así como el desarrollo de productos metacognitivos y la transferencia de lo interiorizado. Claro que todo ello

está en dependencia de la calidad del programa (software instruccional) y lo hay de distintas clases. Aquellos que realmente producen aprendizaje significativo por la forma en que motivan al alumno y este llega a comprender el contenido de enseñanza, su participación en la construcción de su conocimiento y la aplicación de lo aprendido y aquellos que se reducen a la presentación "de lujo" por la visualización que hacen de la materia... pero que al igual que la instrucción programada conductiva se queda en lo epidérmico o superficial y realmente el estudiante no interioriza, el contenido de enseñanza.

Lo que hoy se discute es el cómo insertar esta valioso recurso didáctico en la estrategia de desarrollo instruccional de una materia y de desarrollo curricular de una carrera en el modelo educativo de una institución que sin sustituir al maestro aumenta la eficiencia del proceso educativo. Bien porque se emplea como introducción al tema, como recapitulación, repaso, ejercitación o evaluación o para ejemplificar, ampliar o desarrollar un aspecto.

Distintas compañías transnacionales se dedican a fabricar y comercializar tutoriales software educativos-multimedia, de extraordinaria calidad que pueden ser adquiridos aunque sus costos aún no son tan accesibles al menos de aquellos de buen nivel técnico e instruccional.

2.3 Metodologías para la elaboración de simuladores.

Después de haber realizado una búsqueda de metodologías para la elaboración de tutoriales a nivel nacional y a nivel internacional, todo esto a través de fuentes tales como la biblioteca del Instituto Tecnológico de Minatitlán y principalmente el Internet, a través de estos medios se pudieron encontrar metodologías de Universidades, tales como el Instituto tecnológico de la paz en México y algunas universidades Españolas, las cuales son las fuentes bibliográficas para la elaboración del análisis bibliográfico para la elaboración de tutoriales, cabe mencionar que no existe un reglamento rígido para la elaboración de tutoriales.

2.3.1 Software educativo.

La autora Roxana E. Pintos, de la universidad del Nordeste España, publica una metodología basada en el lenguaje de modelado de realidad virtual como VRML

(Virtual Reality Modeling Language). VRML no es un lenguaje de programación, es un lenguaje de especificación de mundos virtuales. Esta tecnología aún es muy reciente como para contar con una filosofía de trabajo conocida y aceptada formalmente (como ocurre con la programación convencional). Sin embargo en la metodología que se describirá a continuación se encontrarán fases análogas a las encontradas en la Ingeniería de Software. Los pasos preliminares en el diseño, esta etapa abarca los conceptos de Identificación de objetos, especificación de atributos, Identificación de eventos y comunicación entre objetos. Existen muchos métodos usados para crear VRML. Cada compañía tiene su propio 'cocktail' de herramientas tale como el programa de diseño gráfico 3DStudio Max (un programa de modelado comúnmente utilizado para crear geometría) y se trabajó con el exportador VRML para obtener archivos .wrl (VRML). Este tipo de software tiene un costo asociado y el usuario debe tener una licencia para poder usar la aplicación.

2.3.2 Metodologías nacionales para la elaboración de simuladores.

La metodología presentada es la propuesta por el Instituto tecnológico de la paz; quien publica su metodología y además pone al servicio de la comunidad materiales ya elaborados de diferentes materias de las diferentes asignaturas de las carreras que ofrecen. Cabe mencionar que la metodología es muy completa y compatible con las de las universidades españolas con algunas diferencias principalmente en el software utilizado pero trabajando con la misma filosofía de interactividad con el usuario.

2.4 Metodologías para la creación de software.

Todo proyecto de ingeniería tiene unos fines ligados a la obtención de un producto, proceso o servicio que es necesario generar a través de diversas actividades. Algunas de estas actividades pueden agruparse en fases porque globalmente contribuyen a obtener un producto intermedio, necesario para continuar hacia el producto final y facilitar la gestión del proyecto. Al conjunto de las fases empleadas se le denomina "ciclo de vida".

Sin embargo, la forma de agrupar las actividades, los objetivos de cada fase, los tipos de productos intermedios que se generan, etc. pueden ser muy diferentes

dependiendo del tipo de producto o proceso a generar y de las tecnologías empleadas.

La complejidad de las relaciones entre las distintas actividades crece exponencialmente con el tamaño, con lo que rápidamente se haría inabordable si no fuera por la vieja táctica de “divide y vencerás”. De esta forma la división de los proyectos en fases sucesivas es un primer paso para la reducción de su complejidad, tratándose de escoger las partes de manera que sus relaciones entre sí sean lo más simples posibles.

La definición de un ciclo de vida facilita el control sobre los tiempos en que es necesario aplicar recursos de todo tipo (personal, equipos, suministros, etc.) al proyecto. Si el proyecto incluye subcontratación de partes a otras organizaciones, el control del trabajo subcontratado se facilita en la medida en que esas partes encajen bien en la estructura de las fases. El control de calidad también se ve facilitado si la separación entre fases se hace corresponder con puntos en los que ésta deba verificarse (mediante comprobaciones sobre los productos parciales obtenidos).

De la misma forma, la práctica acumulada en el diseño de modelos de ciclo de vida para situaciones muy diversas permite que nos beneficiemos de la experiencia adquirida utilizando el enfoque que mejor se adapte a nuestros requerimientos. El tema se desarrolla del material de apuntes de Ramón Ferreiro en la página www.comunidad.ulsu.edu.mx.

2.4.1 Elementos del ciclo de vida de un software.

Un ciclo de vida para un proyecto se compone de fases sucesivas compuestas por tareas planificables. Este tema se desarrolla del libro implementación y Debugging del autor Ramírez c. Ángel. Según el modelo de ciclo de vida, la sucesión de fases puede ampliarse con bucles de realimentación, de manera que lo que conceptualmente se considera una misma fase se pueda ejecutar más de una vez a lo largo de un proyecto, recibiendo en cada pasada de ejecución aportaciones de los resultados intermedios que se van produciendo (realimentación).

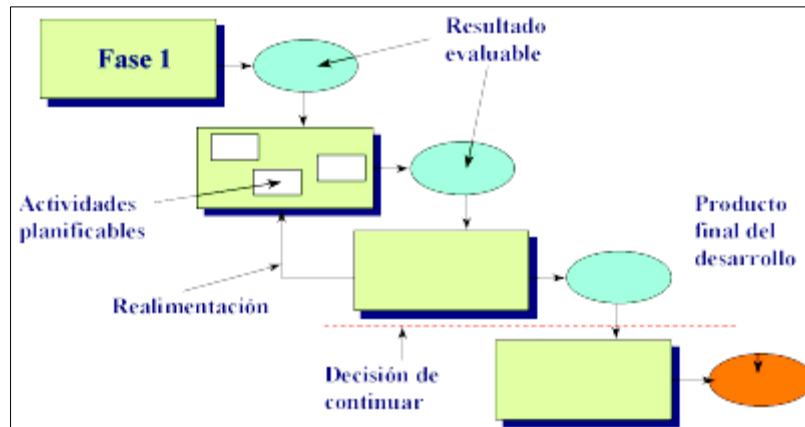


Figura 2.1 Ciclo de vida de un software.

Para un adecuado control de la progresión de las fases de un proyecto se hace necesario especificar con suficiente precisión los resultados evaluables, o sea, productos intermedios que deben resultar de las tareas incluidas en cada fase. Normalmente estos productos marcan los hitos entre fases.

A continuación presentamos los distintos elementos que integran un ciclo de vida:

Fases. Una fase es un conjunto de actividades relacionadas con un objetivo en el desarrollo del proyecto. Se construye agrupando tareas (actividades elementales) que pueden compartir un tramo determinado del tiempo de vida de un proyecto. La agrupación temporal de tareas impone requisitos temporales correspondientes a la asignación de recursos (humanos, financieros o materiales).

Cuanto más grande y complejo sea un proyecto, mayor detalle se necesitará en la definición de las fases para que el contenido de cada una siga siendo manejable. De esta forma, cada fase de un proyecto puede considerarse un “micro-proyecto” en sí mismo, compuesto por un conjunto de micro-fases.

Otro motivo para descomponer una fase en subfases menores puede ser el interés de separar partes temporales del proyecto que se subcontraten a otras organizaciones, requiriendo distintos procesos de gestión.

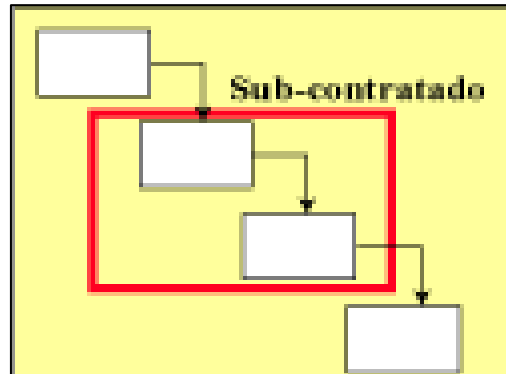


Figura 2.2 Subfases del ciclo de vida de un software.

Cada fase viene definida por un conjunto de elementos observables externamente, como son las actividades con las que se relaciona, los datos de entrada (resultados de la fase anterior, documentos o productos requeridos para la fase, experiencias de proyectos anteriores), los datos de salida (resultados a utilizar por la fase posterior, experiencia acumulada, pruebas o resultados efectuados) y la estructura interna de la fase.



Figura 2.3 Esquema general de operación de una fase.

Entregables ("deliverables"). Son los productos intermedios que generan las fases. Pueden ser materiales (componentes, equipos) o inmateriales (documentos, software). Los entregables permiten evaluar la marcha del proyecto mediante comprobaciones de su adecuación o no a los requisitos funcionales y de condiciones de realización previamente establecidos. Cada una de estas evaluaciones puede servir, además, para la toma de decisiones a lo largo del desarrollo del proyecto.

2.4.1.1 Tipos de modelo de ciclo de vida.

Las principales diferencias entre distintos modelos de ciclo de vida están en:

El alcance del ciclo dependiendo de hasta dónde llegue el proyecto correspondiente. Un proyecto puede comprender un simple estudio de viabilidad del desarrollo de un producto, o su desarrollo completo o, llevando la cosa al extremo, toda la historia del producto con su desarrollo, fabricación, y modificaciones posteriores hasta su retirada del mercado.

Las características (contenidos) de las fases en que dividen el ciclo. Esto puede depender del propio tema al que se refiere el proyecto (no son lo mismo las tareas que deben realizarse para proyectar un avión que un puente), o de la organización (interés de reflejar en la división en fases aspectos de la división interna o externa del trabajo).

La estructura de la sucesión de las fases que puede ser lineal, con prototipado, o en espiral. Veámoslo con más detalle:

2.4.1.1.1 Ciclo de vida lineal.

Es el más utilizado, siempre que es posible, precisamente por ser el más sencillo. Consiste en descomponer la actividad global del proyecto en fases que se suceden de manera lineal, es decir, cada una se realiza una sola vez, cada una se realiza tras la anterior y antes que la siguiente. Con un ciclo lineal es fácil dividir las tareas entre equipos sucesivos, y prever los tiempos (sumando los de cada fase).

Requiere que la actividad del proyecto pueda descomponerse de manera que una fase no necesite resultados de las siguientes (realimentación), aunque pueden admitirse ciertos supuestos de realimentación correctiva. Desde el punto de vista de la gestión (para decisiones de planificación), requiere también que se sepa bien de antemano lo que va a ocurrir en cada fase antes de empezarla.

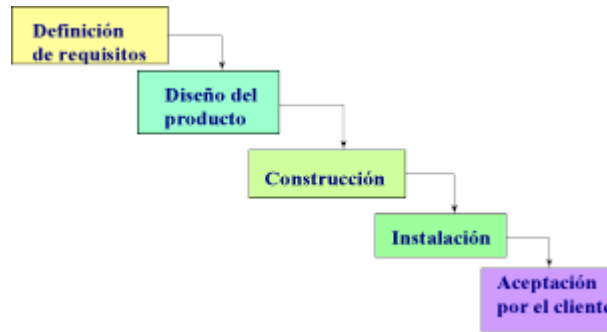


Figura 2.4 Ejemplo de ciclo lineal para un proyecto de construcción.

2.4.1.1.2 Ciclo de vida con prototipado.

A menudo ocurre en desarrollos de productos con innovaciones importantes, o cuando se prevé la utilización de tecnologías nuevas o poco probadas, que las incertidumbres sobre los resultados realmente alcanzables, o las ignorancias sobre el comportamiento de las tecnologías, impiden iniciar un proyecto lineal con especificaciones cerradas.

Si no se conoce exactamente cómo desarrollar un determinado producto o cuáles son las especificaciones de forma precisa, suele recurrirse a definir especificaciones iniciales para hacer un prototipo, o sea, un producto parcial (no hace falta que contenga funciones que se consideren triviales o suficientemente probadas) y provisional (no se va a fabricar realmente para clientes, por lo que tiene menos restricciones de coste y/o prestaciones). Este tipo de procedimiento es muy utilizado en desarrollo avanzado.

La experiencia del desarrollo del prototipo y su evaluación deben permitir la definición de las especificaciones más completas y seguras para el producto definitivo.

A diferencia del modelo lineal, puede decirse que el ciclo de vida con prototipado repite las fases de definición, diseño y construcción dos veces: para el prototipo y para el producto real.



Figura 2.5 Subciclo de prototipado.

2.3.1.1.3 Ciclo de vida en espiral.

El ciclo de vida en espiral puede considerarse como una generalización del anterior para los casos en que no basta con una sola evaluación de un prototipo para asegurar la desaparición de incertidumbres y/o ignorancias. El propio producto a lo largo de su desarrollo puede así considerarse como una sucesión de prototipos que progresan hasta llegar a alcanzar el estado deseado. En cada ciclo (espirales) las especificaciones del producto se van resolviendo paulatinamente.

A menudo la fuente de incertidumbres es el propio cliente, que aunque sepa en términos generales lo que quiere, no es capaz de definirlo en todos sus aspectos sin ver como unos influyen en otros. En estos casos la evaluación de los resultados por el cliente no puede esperar a la entrega final y puede ser necesaria repetidas veces.

El esquema del ciclo de vida para estos casos puede representarse por un bucle en espiral, donde los cuadrantes son, habitualmente, fases de especificación, diseño, realización y evaluación (o conceptos y términos análogos).

En cada vuelta el producto gana en "madurez" (aproximación al final deseado) hasta que en una vuelta la evaluación lo apruebe y el bucle pueda abandonarse.

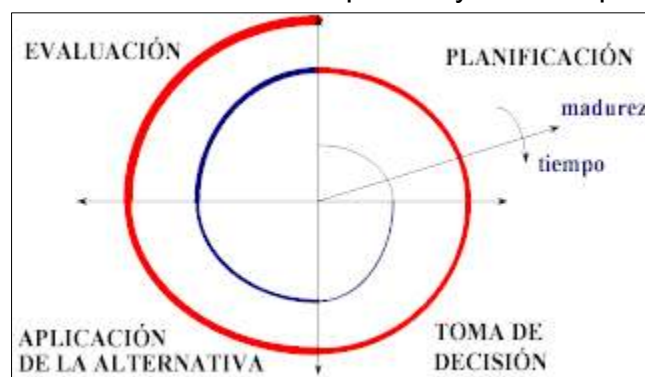


Figura 2.6 Ciclo de vida en espiral.

Objetivos de cada fase:

Dentro de cada fase general de un modelo de ciclo de vida, se pueden establecer una serie de objetivos y tareas que lo caracterizan.

Tabla 2.1 Fases del ciclo vida.

Fase de definición (¿qué hacer?)

- ✚ Estudio de viabilidad.
- ✚ Conocer los requisitos que debe satisfacer el sistema (funciones y limitaciones de contexto).
- ✚ Asegurar que los requisitos son alcanzables.
- ✚ Formalizar el acuerdo con los usuarios.
- ✚ Realizar una planificación detallada.

Fase de diseño (¿cómo hacerlo? Soluciones en coste, tiempo y calidad)

- ✚ Identificar soluciones tecnológicas para cada una de las funciones del sistema.
- ✚ Asignar recursos materiales para cada una de las funciones.
- ✚ Proponer (identificar y seleccionar) subcontratas.
- ✚ Establecer métodos de validación del diseño.
- ✚ Ajustar las especificaciones del producto.

Fase de construcción

- ✚ Generar el producto o servicio pretendido con el proyecto.
- ✚ Integrar los elementos subcontratados o adquiridos externamente.
- ✚ Validar que el producto obtenido satisface los requisitos de diseño previamente definidos y realizar, si es necesario, los ajustes necesarios en dicho diseño para corregir posibles lagunas, errores o inconsistencias.

Fase de mantenimiento y operación

- ✚ Operación: asegurar que el uso del proyecto es el pretendido.
- ✚ Mantenimiento (nos referimos a un mantenimiento no habitual, es decir, aquel que no se limita a reparar averías o desgastes habituales - este es el caso del mantenimiento en productos software, ya que en un programa no cabe hablar de averías o de desgaste):

2.4 Sistemas para ingeniería térmica internacionales.

El HYSYS es un programa en continuo desarrollo que permite, además, al usuario usar sus propios códigos y sub.-rutinas de cálculo en el entorno del programa, sin necesidad de acceder a los códigos fuentes. Esto se hace a través del concepto de extensiones.

Las extensiones son ejecutables compilados en formato .dll que pueden ser incorporados al programa y ejecutados por este como si formaran parte de su estructura básica. En un ejemplo del tema 1 explicaremos cómo se instala y ejecuta una extensión.

En forma de extensiones se han desarrollado aplicaciones de mucho interés y utilidad en la simulación de procesos; algunas de ellas por la propia HyproTech y otras por usuarios ajenos a dicha empresa. Entre todas las extensiones de HYSYS que aparecen en la red hemos decidido incorporar a nuestro curso la denominada Equilibrium Plot, que permite construir diagramas de equilibrio LV y LL de forma automática.

Simultáneamente al desarrollo de extensiones de HYSYS, se ha trabajado en la creación de interfases para la transferencia automática de información entre el HYSYS y el EXCEL. Estas son códigos EXCEL que conectan a casos de HYSYS abiertos (o pueden abrirlos) para procesar datos que están contenidos en este en otros formatos. El objetivo de estas es aprovechar las capacidades del EXCEL en el procesamiento de datos. En nuestro curso incluimos dos de estas aplicaciones con notable interés: una que construye diagramas T-x-y para el equilibrio LV y otra que vuelca en una tabla de EXCEL toda la información del Workbook de un caso de HYSYS. Esta información fue recabada de www.hysys.de/.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE UN COMPRESOR.

3.1 Cálculo de compresores centrífugos.

La tendencia en la industria de procesos químicos es construir plantas cada vez más grandes con equipo de un solo componente, más grande y confiable.

La confiabilidad del equipo rotatorio siempre se debe definir en términos de la duración esperada de la planta y el tiempo de amortización requerido para producir utilidades al propietario. Muchas plantas de productos químicos tienen una duración esperada de cinco años o menos, pues el proceso ya será anticuado al cabo de ese tiempo, mientras que las refinerías o las plantas petroquímicas tienen un tiempo de amortización de 10 a 15 años o más. Este tema se fue desarrollando del libro compresores, selección uso y mantenimiento de Richard W. Greene.

Hay algunas preguntas de primordial importancia que parecen no tener relación entre sí, para evaluar, seleccionar e instalar equipo rotatorio. ¿Va a ser la planta de proceso continuo o por cargas a lotes? ¿Qué prima se aplica al costo de operación contra el costo del capital? ¿Se cuenta con personal idóneo para mantenimiento o se piensa minimizar la mano de obra con un control más automático del proceso?

Con esos datos, presentes, se puede tratar de evaluar y utilizar el equipo existente en el mercado.

El "corazón" de muchos procesos y el que más problemas puede ocasionar es el compresor. Cuando se selecciona un tipo de compresor, es indispensable contar con todas las condiciones del proceso para su examen. Si hay algún especialista en la planta, debe estar informado de esas condiciones; no hacerlo, ha ocasionado infinidad de problemas.

En la figura 1 se ilustran los límites de funcionamiento de los compresores de mayor empleo en la IPQ. Se debe tener cuidado al aplicar la figura 3.1 porque se pueden utilizar dos o más tipos de compresores y hay que estudiar las opciones. El primer paso es definir los tipos y principios de funcionamiento de los compresores.

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. En la figura 3.2 se ilustran un impulsor y difusor típicos. La forma de la curva característica depende del ángulo de los alabes del impulsor en el diámetro exterior del mismo y también del tipo de difusor. En la referencia 3.1 se presenta la teoría y técnica de operación de los diferentes tipos de impulsores. Estos compresores suelen ser unitarios, salvo que el flujo sea muy grande o que las necesidades del proceso exijan otra cosa.

La mayor parte de los impulsores para la IPQson del tipo de inclinación hacia atrás o inversa, que permite mejor control porque su curva de rendimiento tiene mayor pendiente. La velocidad en las puntas de un impulsor convencional suele ser de 800 a 900 ft/s. Esto significa que el impulsor podrá producir alrededor de 9 500 ft de carga, lo que depende del gas que se comprima. Si se requieren valores más altos, se emplean compresores de etapas múltiples.

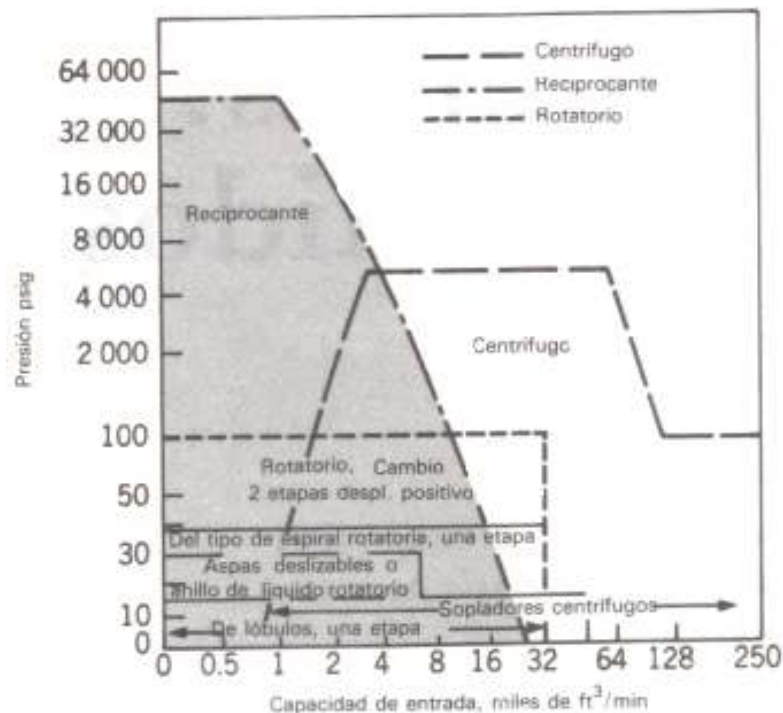


Figura 3.1 Los compresores cubren límites amplios para usos en procesos.

Los gases pesados como el propano, el propileno o freón necesitan una reducción en la velocidad en las puntas, porque estos gases tienen velocidades sónicas más bajas, comparadas con el aire. Para ellos, el número de Mach relativo en el lado del impulsor está limitado a 0.8.

Cuando se evalúa un compresor centrífugo, se debe prestar mucha atención al porcentaje de aumento en la presión, desde el punto normal de funcionamiento hasta el punto de oscilación. Este punto se define como el lugar en donde una reducción adicional en el flujo ocasionará inestabilidad en forma de flujo a pulsaciones y pueden ocurrir daños por sobrecalentamiento, falla de los cojinetes por la inversión de empuje o por vibración excesiva.

Debido a las altas velocidades de los compresores centrífugos, se debe tener más cuidado con el balanceo del rotor. La industria ha aceptado, en general, la siguiente fórmula para los límites de vibración permisibles en el eje o árbol del compresor;

$$Z = \sqrt{12\,000/n} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.1}$$

En donde Z es el límite de vibración permisible, pico a pico, en mus (milésimas de pulgada) y n es la velocidad, en rpm. Z tiene un límite máximo de 2.0 mil a cualquier velocidad. Debido a las altas velocidades, muchos usuarios especifican la instalación de monitores de vibración del tipo sin contacto para detectar las vibraciones excesivas del eje.

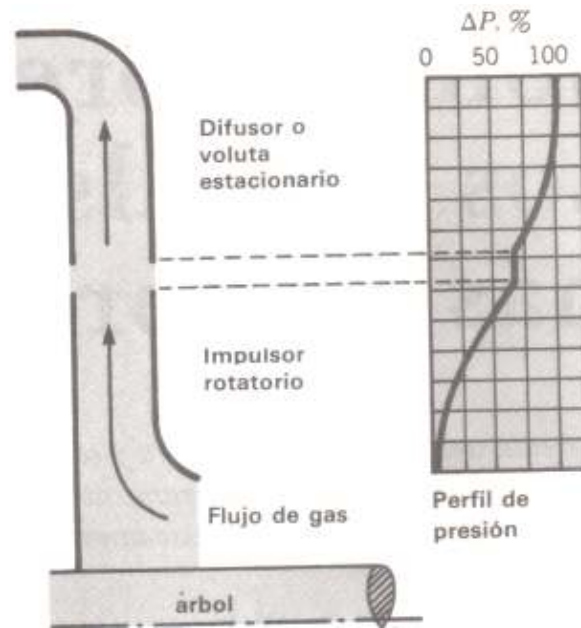


Figura 3.2 Flujo de gas de un compresor centrífugo.

Según sea el sistema para el proceso, se necesitan diversos controles contra oscilación para evitar que el compresor llegue al valor en el cual se producen. Por lo general, se debe incluir un factor de seguridad de 5 a 10% para los controles automáticos. Los circuitos de resistencia simple quizá no necesitarán controles contra oscilaciones porque nunca se llegará a la línea en que se producen (Fig, 3.3).

Cuando se aplica una contrapresión fija en el compresor, se debe tener cuidado especial para seleccionar una curva de rendimiento de pendiente pronunciada; es decir, un aumento en la carga de alrededor de 10 a 15% desde el punto nominal hasta el punto de oscilación o inestabilidad (Fig. 3.4). Cuando se recircula el gas en el circuito contra oscilaciones, hay que enfriarlo antes de devolverlo a la entrada del compresor. Además, si se desea velocidad variable, se utiliza un control de presión para regular la velocidad de la unidad motriz.

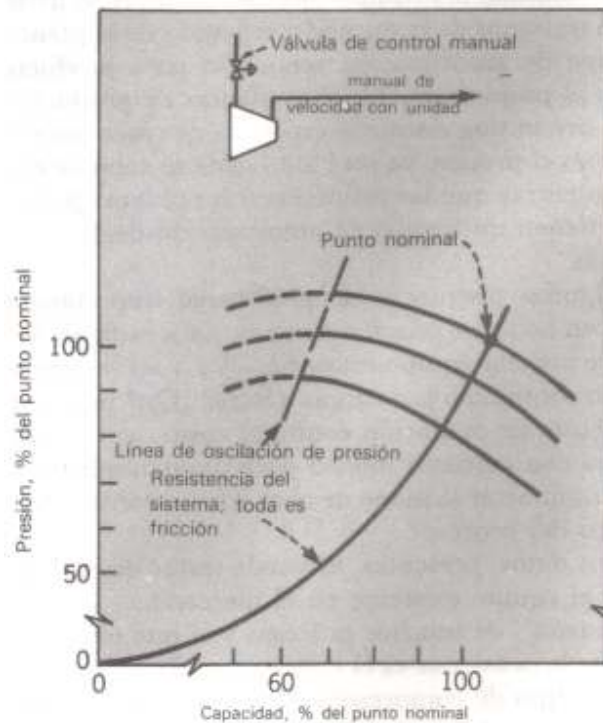


Figura 3.3 La resistencia al flujo se debe sólo a la fricción.

Cuando se requieren contrapresión y caída por fricción fijas, se necesitará un sistema contra oscilaciones, en especial si pueden haber grandes variaciones en el flujo y la presión (Fig. 3.5). El aumento en la carga desde el punto nominal hasta el de oscilación debe ser, cuando menos, del 10% para tener buena estabilidad. El sistema de control es el mismo que el de la figura 3.4 y, por lo general, estará basado en la medición del flujo en el compresor. También en este caso se debe enfriar el flujo en derivación (bypass) antes de devolverlo al compresor.

Para el proceso, el compresor centrífugo tiene la ventaja de que envía gas libre de aceite y de que no hay piezas que se desgasten en la corriente del compresor. Hay disponibles varios tipos de sellos de extremo. La selección depende de la presión de succión del compresor, porque casi todos tienen el extremo de descarga equilibrado contra la presión de succión; es decir, los extremos de entrada y descarga del compresor tienen la presión de succión. A continuación se mencionan tipos de sellos y sus límites normales de presión. La configuración se muestra en la figura 3.6

Tabla 3.1 Tipos de sellos.

Tipo de sello	Presión aproximada, psig
Laberinto	15
Anillo de carbón	100
Contacto mecánico	500
Película de aceite	3000 o mayor

Hay variantes de estos sellos. Por ejemplo, si el gas de proceso contiene un componente "agrio" como el H₂S,

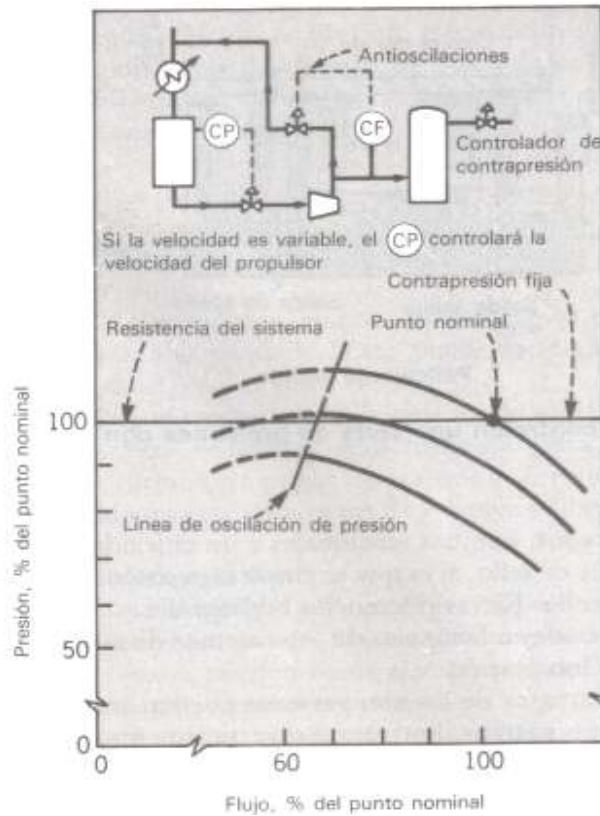


Figura 3.4 La contrapresión fija requiere control cuidadoso.

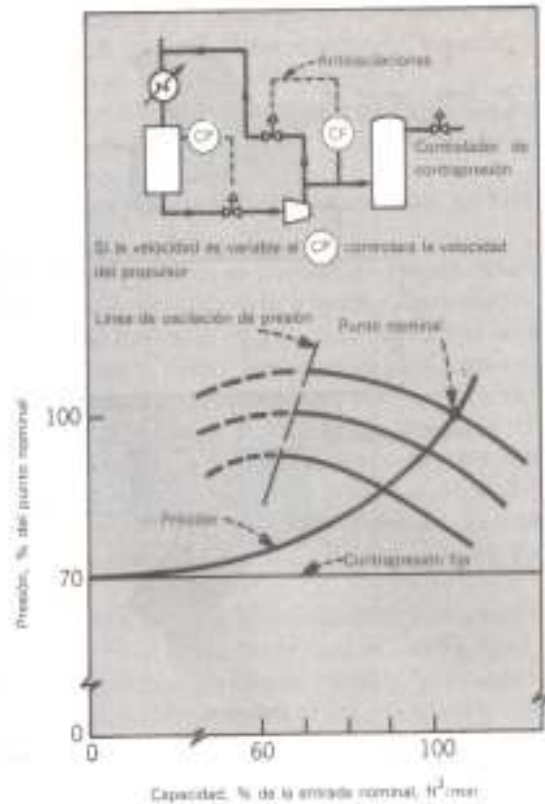


Figura 3.5 El control antioscilación maneja la contrapresión fija.

Se puede utilizar un gas "dulce" o neutro como el nitrógeno, para amortiguar la zona entre el sello de contacto mecánico o de película de aceite y el gas del proceso (Fig. 3.6). Se podría utilizar un eductor en combinación con la inyección de gas dulce a fin de que las fugas externas sean en el sentido de la educación.

La ventaja del sello de laberinto es que es del tipo de holgura sin piezas con rozamiento y es el más sencillo de todos. También se utiliza entre las etapas (pasos) de los compresores de etapas múltiples. Su desventaja es la gran cantidad de fugas que permite, las cuales no se pueden tolerar con gases costosos como el nitrógeno o el oxígeno.

Los sellos de anillo de carbón no se suelen utilizar mucho, salvo cuando el gas está limpio o hay un medio amortiguador limpio que incluya un lubricante. Como estos sellos son de mínima holgura, sufren desgaste. Son de menor costo que los sellos de película de aceite o de contacto mecánico y tienen la ventaja de que impiden las fugas externas del gas comprimido.

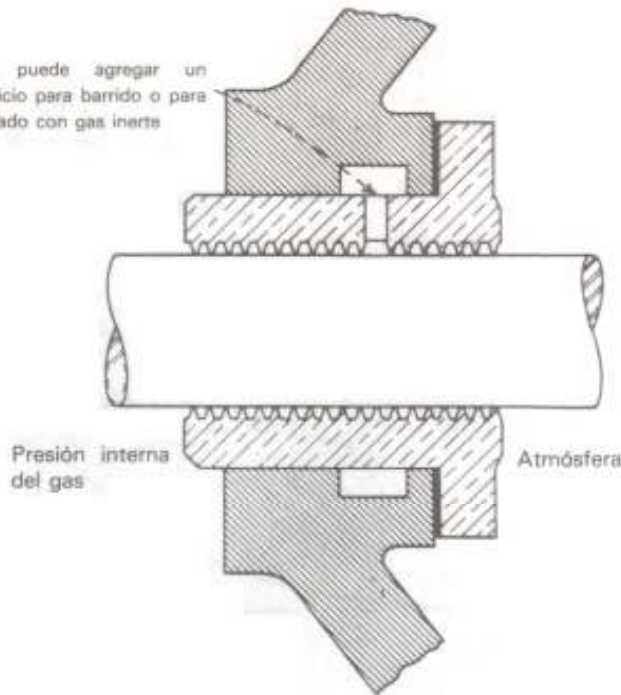
En el sello de contacto mecánico hay una película de aceite que se mantiene entre sus caras estacionaria y giratoria. Tiene la ventaja de que minimiza el paso de aceite hacia el lado del gas.

También es más o menos insensible a la presión diferencial entre la presión de succión del gas y la presión del aceite para sello. Su desventaja es una posible pérdida de la película de aceite, lo cual puede ocasionar serios daños en las caras pareadas.

En el sello de película de aceite, como en el de contacto mecánico, se emplea la película para sellar el gas comprimido de la atmósfera. Al contrario del sello de contacto mecánico, es del tipo con holgura reducida y se necesita una diferencia muy precisa entre la presión de succión y la de sellamiento para minimizar las fugas internas de aceite. Cuando el aceite para el sello es parte del sistema de lubricación, podrían ocurrir pérdidas excesivas y problemas de mantenimiento para eliminar el aceite contaminado y volver a llenar el sistema de lubricación. Este tipo de sello se utiliza por las altas presiones de succión que son comunes en la IPQ.

La desventaja de los sistemas de sellos de película de aceite y de contacto mecánico es que necesitan controles de contacto mecánico, es del tipo con holgura reducida y se necesita una diferencia muy precisa entre la presión de succión y la de sellamiento para minimizar las fugas internas de aceite. Cuando el aceite para el sello es parte del sistema de lubricación, podrían ocurrir pérdidas excesivas y problemas de mantenimiento para eliminar el aceite contaminado y volver a llenar el sistema de lubricación. Este tipo de sello se utiliza por las altas presiones de succión que son comunes en la IPQ.

Se puede agregar un orificio para barrido o para sellado con gas inerte

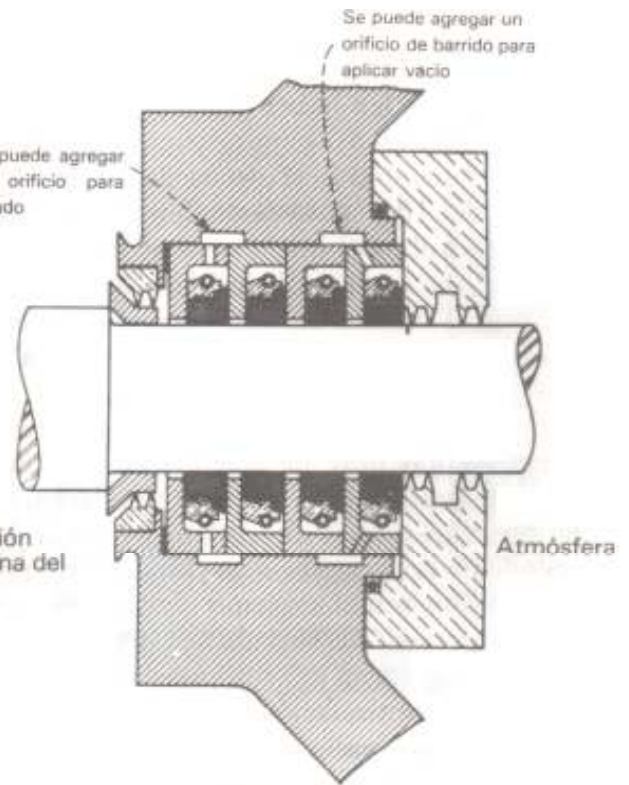


Laberinto

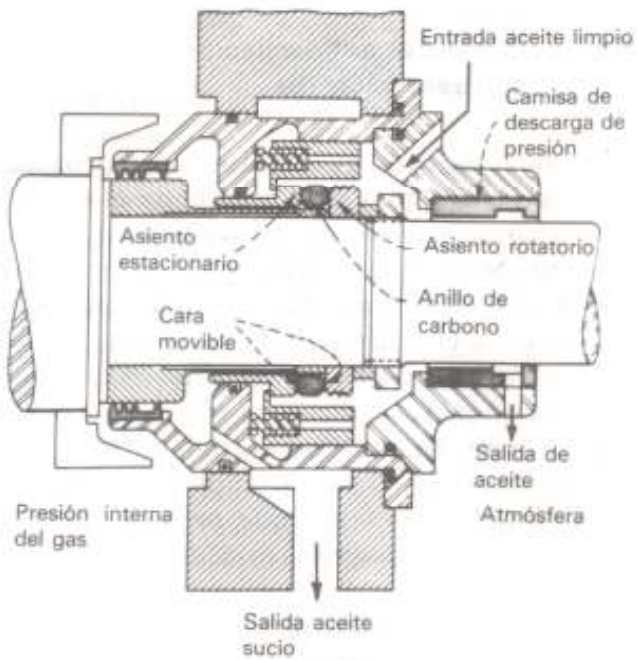
Se puede agregar un orificio de barrido para aplicar vacío

Se puede agregar un orificio para sellado

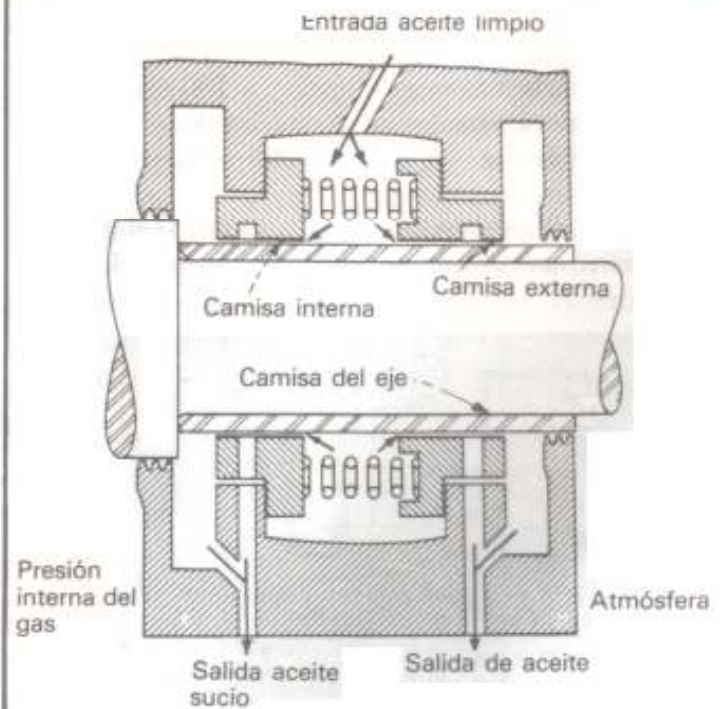
Presión interna del gas



Anillo de restricción



Mecánico (de contacto)



Película de líquido

Fuente: API 617

Figura 3.6 Los sellos de extremo del eje de compresores centrífugos controlan una serie de presiones con diversos gases.

La desventaja de los sistemas de sellos de película de aceite y de contacto mecánico es que necesitan controles complicados, bombas adicionales y un enfriador y filtro del aceite de sello, si es que se emplea un sistema separado para ello. Las carcasas de los compresores pueden ser del tipo dividido o partido, horizontal o verticalmente, con respecto al eje.

Para el mantenimiento, es más fácil el acceso al rotor con la carcasa dividida horizontalmente que con la que lo está en forma vertical. Sin embargo, la de tipo horizontal tiene capacidad limitada de presión debido a la gran superficie de sellamiento en la unión. El Subcomité de Equipo Mecánico del API estableció un lineamiento que requiere una unión de sellamiento vertical, y la base para cambiar a carcasa dividida verticalmente o de barril es:

Tabla 3.2 Trabajo de la carcasa.

Fracción molar de H₂, %	Presión máxima de trabajo de la carcasa
%	psig
100	200
90	222
80	250
70	295

Cuando se utiliza carcasa dividida en sentido vertical, se debe dejar espacio para sacar la carcasa interna y el rotor.

La selección del material para las carcasas y rotores depende del gas que se comprima. Algunos estudios recientes indican que los gases que contienen sulfuro de hidrógeno (H₂S) ocasionan corrosión por esfuerzo en las piezas muy esforzadas- Para contrarrestarlo, se necesitan materiales más blandos en el impulsor, lo cual requiere menores velocidades en las puntas del impulsor. En algunos casos, debido a esta reducción de la velocidad, habrá que seleccionar el compresor del tamaño inmediato mayor. Esto quiere decir que se debe informar al fabricante del compresor de todos los componentes del gas y las condiciones de operación.

3.1.1 Ventajas y desventajas de los compresores centrífugos.

Las ventajas del empleo de un compresor centrífugo son:

- ✚ En el intervalo de 2 000 a 200 000 ftV/min, y según sea la relación de presión, este compresor es económico porque se puede instalar una sola unidad.
- ✚ Ofrece una variación bastante amplia en el flujo con un cambio pequeño en la carga.
- ✚ La ausencia de piezas rozantes en la corriente de compresión permite trabajar un largo tiempo entre intervalos de mantenimiento, siempre y cuando los sistemas auxiliares de aceite lubricante y aceite de sellos estén correctos.
- ✚ Se pueden obtener grandes volúmenes en un lugar de tamaño pequeño. Esto puede ser una ventaja cuando el terreno es muy costoso.
- ✚ Cuando se genera suficiente vapor en el proceso, un compresor centrífugo será adecuado para moverlo con una turbina de vapor de conexión directa.
- ✚ Su característica es un flujo suave y libre de pulsaciones.

Las desventajas del empleo de un compresor centrífugo son:

- ✚ Los centrífugos son sensibles al peso molecular del gas que se comprime. Los cambios imprevistos en el peso molecular pueden hacer que las presiones de descarga sean muy altas o muy bajas.
- ✚ Se necesitan velocidades muy altas en las puntas para producir la presión. Con la tendencia a reducir el tamaño y a aumentar el flujo, hay que tener mucho más cuidado al balancear los rotores y con los materiales empleados en componentes sometidos a grandes esfuerzos.
- ✚ Un aumento pequeño en la caída de presión en el sistema de proceso puede ocasionar reducciones muy grandes en el volumen del compresor.
- ✚ Se requiere un complicado sistema para aceite lubricante y aceite para sellos.

3.2 Compresores de desplazamiento positivo.

Estos compresores se pueden dividir en rotatorios y reciprocantes para las aplicaciones más comunes en un proceso. Al contrario de los centrífugos, son de capacidad constante y tienen presiones de descarga variables. En la figura 3.7 se presenta una curva típica de rendimiento, para la cual se supone que la presión y temperatura de succión y la presión de descarga son constantes. La capacidad se cambia por la velocidad o con el descargador de la válvula de succión. Además, sólo hay una pequeña variación en el flujo en una amplia gama de presiones.

Los compresores reciprocantes funcionan con el principio adiabático mediante el cual se introduce el gas en el cilindro por las válvulas de entrada, se retiene y comprime en el cilindro y sale por las válvulas de descarga, en contra de la presión de descarga. Estos compresores rara vez se emplean como unidades individuales, salvo que el proceso requiera funcionamiento intermitente. Por ejemplo, si hay que regenerar un catalizador cada dos o tres meses o se tiene un suministro de reserva en otra fuente, esto daría tiempo para reparar o reemplazar las válvulas o anillos de los pistones, si es necesario.

Los compresores reciprocantes tienen piezas en contacto, como los anillos de los pistones con las paredes del cilindro, resortes y placas o discos de válvulas que se acoplan con sus asientos y entre la empaquetadura y la biela. Todas estas partes están sujetas a desgaste por fricción.

Los compresores reciprocantes pueden ser del tipo lubricado o sin lubricar. Si el proceso lo permite, es preferible tener un compresor lubricado, porque las piezas durarán más. Hay que tener cuidado de no lubricar en exceso, porque la carbonización del aceite en las válvulas puede ocasionar adherencias y sobrecalentamiento.

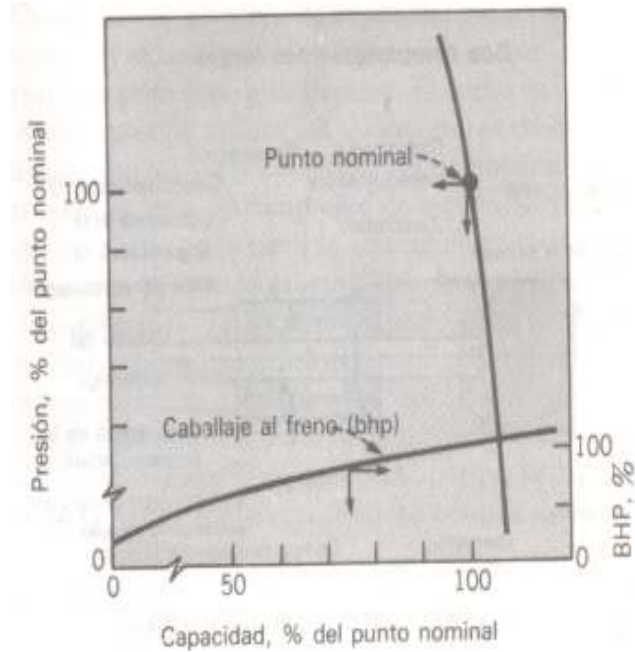


Figura 3.7 Curva del compresor de desplazamiento positivo.

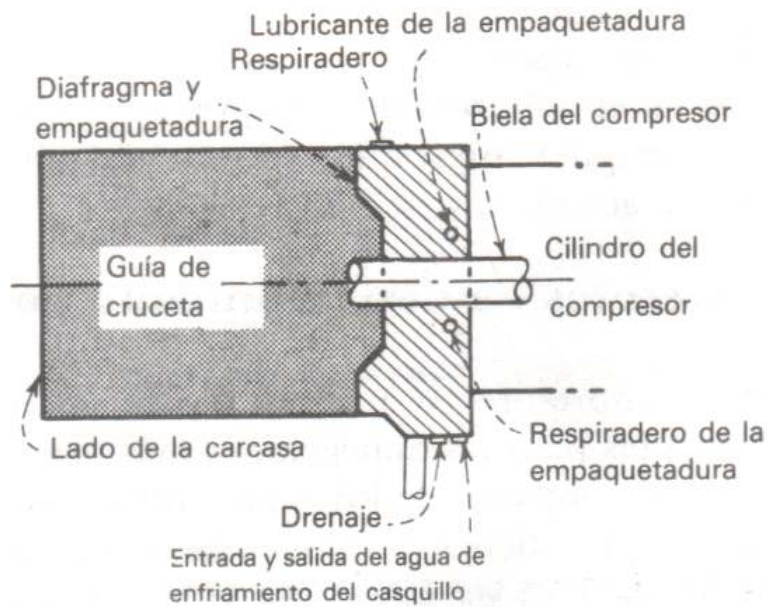


Figura 3.8.1 Montaje estándar en cilindro.

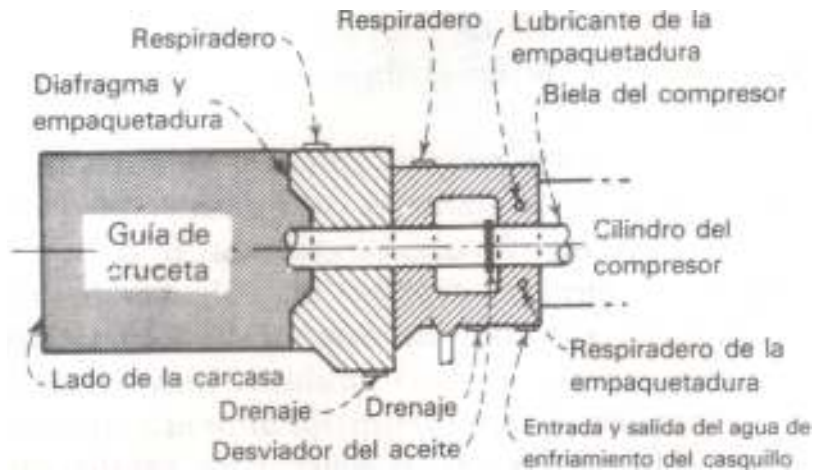


Figura 3.8.2 Compartimiento sencillo.

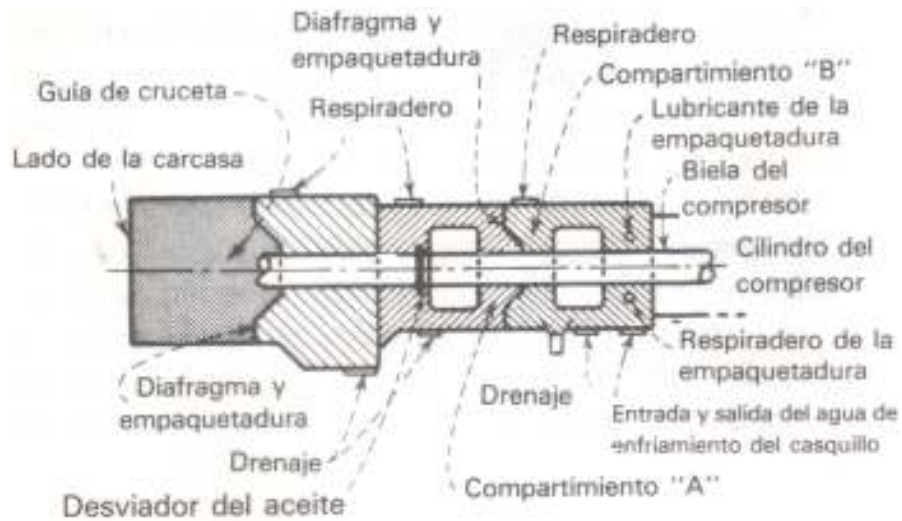


Figura 3.8.3 Dos compartimientos largos.

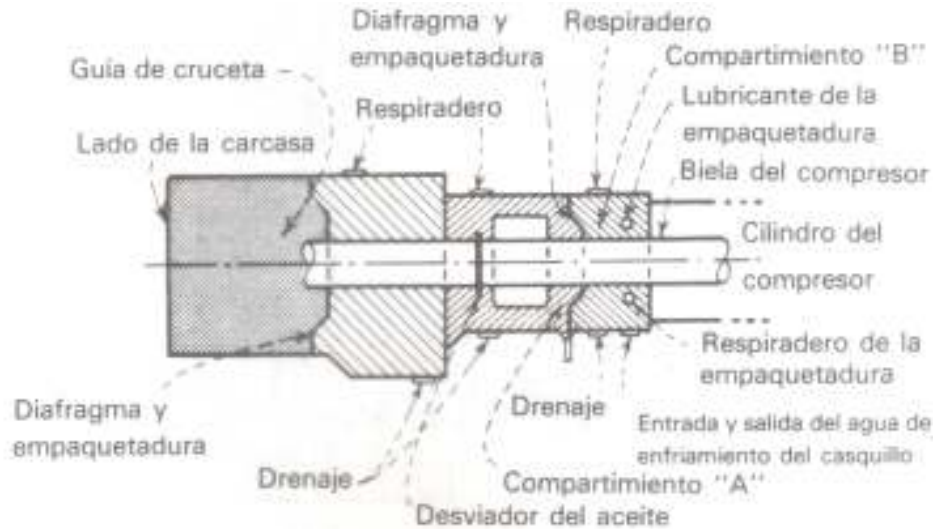


Figura 3.8.3 Dos compartimientos cortos.

Además, los tubos de descarga saturados con aceite son un riesgo potencial de incendio, por lo que se debe colocar corriente abajo un separador para eliminar el aceite. Los problemas más grandes en los compresores con cilindros lubricados son la suciedad y la humedad, pues destruyen la película de aceite dentro del cilindro.

La mejor forma de evitar la mugre es utilizar coladores temporales en la succión para tener un sistema limpio al arranque. La humedad y los condensables que llegan a la succión del compresor se pueden evitar con un separador eficaz colocado lo más cerca que sea posible del compresor. Si se va a comprimir un gas húmedo, habrá que pensar en camisas de vapor o precalentamiento del gas de admisión, corriente abajo del separador.

En los compresores sin lubricación, la mugre suele ser el problema más serio, y hay otros problemas que puede ocasionar el gas en sí. Por ejemplo, un gas absolutamente seco puede ocasionar un severo desgaste de los anillos; en este caso, hay que consultar con el fabricante, pues constantemente se obtienen nuevos datos de pruebas. En los compresores no lubricados, los anillos del pistón y de desgaste se suelen hacer con materiales rellenos con teflón, bronce, vidrio o carbón, según sea el gas que se comprime. El pulimento del cilindro a 12 fi (rms.) suele

prolongar la duración de los anillos. La empaquetadura es susceptible del mismo desgaste que los anillos del pistón.

Si se comprime un gas agrio o si el lubricante utilizado para el cilindro no es compatible con el empleado en el cuerpo del compresor o viceversa, se debe especificar un espaciador extralargo; en la figura 3.8 se ilustran las configuraciones de algunos. Cuando el gas es peligroso, se debe especificar un espaciador doble, y el que está junto al cilindro se debe purgar con un gas inerte.

Las fugas por la empaquetadura se deben enviar a un sistema de quemador o devolverlas a la succión. Los compresores lubricados pueden necesitar tubos separados para lubricar la empaquetadura, aunque en los cilindros de diámetro pequeño quizá no se requieran. Las empaquetaduras de teflón sin lubricación suelen necesitar enfriamiento por agua, porque su conductividad térmica es muy baja. Si se manejan gases a temperaturas inferiores a 10°F el fabricante debe calcular la cantidad de precalentamiento del gas mediante recirculación interna. Esto significa que se necesitará un cilindro un poco más grande para mover el mismo peso de flujo.

Los compresores reciprocantes deben tener, de preferencia motores de baja velocidad, de acoplamiento directo, en especial si son de más de 300 hp; suelen ser de velocidad constante. El control de la velocidad se logra mediante válvulas descargadoras, y estas deben ser del tipo de abatimiento de la placa de válvula o del tipo de descargador con tapón o macho. Los descargadores que levantan toda la válvula de su asiento pueden crear problemas de sellamiento. La descarga puede ser automática o manual. Los pasos normales de descarga son 0-100% f 0-50-100%, 0-25-60-75-100% y se pueden obtener pasos intermedios con cajas de espacio muerto o botellas de despejo; pero, no se deben utilizar estas cajas si puede ocurrir polimerización, salvo que se tomen las precauciones adecuadas.

3.3 Cargas, velocidades y pulsaciones del compresor.

Los compresores se clasifican de acuerdo con las cargas en la biela. Una carrera más larga significa, por lo general, mayores cargas nominales en la biela y mayor capacidad de presión diferencial y de caballaje. La mayor parte de los fabricantes han establecido los tamaños requeridos para la carcasa. Es importante

no exceder las cargas en la carcasa y en la biela, ni siquiera cuando funciona la válvula de seguridad.

Las velocidades promedio del pistón en compresores no lubricados deben ser de unos 700 ft/min máximo; en los lubricados, puede llegar a un máximo de unos 850 ft/min. Las velocidades de rotación en los compresores de trabajo pesado deben ser inferiores a 600 rpm y todavía más bajas en los de alto caballaje, de más de 400 hp.

Las pulsaciones de presión son inherentes en los compresores recíprocos y las ocasiona el movimiento alternativo del pistón. Para evitarlas, se instalan amortiguadores de pulsaciones lo más cerca que sea posible del compresor. La siguiente fórmula puede servir como guía para tener máxima limitación de pulsaciones pico a pico en los tubos de succión y descarga del compresor:

$$P_1 = \frac{1.5}{\sqrt[3]{0.001p}} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.2}$$

En donde P_1 es la pulsación máxima permisible en porcentaje, y p es la presión media efectiva en la tubería, psia. El valor de P_3 es el que se obtiene con la fórmula, o 1 %, lo que sea mayor. Si se cumple con estos límites, no sólo se reducirán las pulsaciones, sino que se tendrá mejor funcionamiento de las válvulas del compresor.

Para tener la seguridad de que el sistema total del compresor es adecuado, incluyendo la tubería y los tanques, el fabricante debe hacer un estudio semejante. En el caso de sistemas complicados, hay instituciones como el Southwest Research Institute o similares en otros países, que pueden hacer pruebas de vibraciones mecánicas y acústicas.

Una excelente fuente de información para compresores recíprocos es la Norma API 618.6 Si se aplica, aumenta el costo del equipo, pero representa muchos años de experiencia y puede significar la reducción de costosas reparaciones al arranque o después de empezar el funcionamiento.

3.4 Compresores rotatorios de desplazamiento positivo.

Hay varios tipos de compresores rotatorios de desplazamiento positivo, entre ellos están el de tipo de soplador con lóbulos (como el diseño de Roots), el tipo de espiral rotatorio SRM, el diseño de anillo de agua y de aspas deslizables. Todos tienen el mismo tipo de curva de rendimiento que el compresor recíprocante; es decir, son de capacidad fija con contrapresión variable. Los compresores rotatorios se prestan más para las unidades motrices de velocidad variable, como las turbinas de vapor, que los compresores recíprocantes. Por lo general, estos compresores tienen una capacidad máxima de unos 25 000 ft³/min, en los de espiral rotatoria y de lóbulos. El diseño de anillo de agua tiene la ventaja de que el gas no hace contacto con las partes rotatorias metálicas. Los aspectos críticos son la presión de vapor del gas de entrada, comparada con la presión de vapor del líquido que forma el anillo de agua y el aumento de temperatura en el mismo. La presión de vapor del fluido para sellos debe ser muy inferior al punto de ebullición, pues en otra forma se evaporará el anillo de agua, ocasionará pérdida de capacidad y quizá serios daños por sobrecalentamiento.

Como los compresores de aspas deslizables necesitan lubricación sólo se emplean en procesos en que f^* puede permitir la presencia de lubricante. El aceite en la cámara de compresión reduce las temperaturas de descarga y el consumo de aceite es elevado, por comparación con uno recíprocante. El compresor de aspas deslizables es muy compacto, pero tiene la misma desventaja que el recíprocante porque se necesitan piezas con rozamiento en la corriente de gas, y la pérdida de lubricante puede ocasionar sobrecalentamiento del cilindro. Estos compresores necesitan interruptores por alta temperatura del agua y del aire. La reducción en la velocidad se limita a alrededor del 60% de la normal, porque la disminución en la fuerza centrífuga produce pérdida de eficiencia de sellamiento.

Los tipos más comunes de compresores rotatorios de desplazamiento positivo en la IPQ son los de espiral y de lóbulos rotatorios, que ofrecen la ventaja de que el aire no contiene aceite, porque no hay contacto con ninguna parte en la zona

de compresión. Su diseño rotatorio les da una capacidad mucho mayor que la del compresor recíprocante y sin problemas de pulsaciones.

Se utilizan engranes de sincronización para mantener la separación entre los rotores para que no se toquen. En el soplador del tipo Rootes, estos engranes transmiten alrededor del 30% del par motor, mientras que en los de espiral rotatoria transmiten alrededor del 10% del par. Como se trata de compresores de desplazamiento positivo, se debe colocar una válvula de desahogo entre el compresor y la válvula de bloque.

El tipo con lóbulos de Rootes tiene poca capacidad para presión diferencial; por lo general, de unas 15 psig. El de espiral rotatoria puede tener presión diferencial mucho más alta. Ambos tienen un deslizamiento fijo que ocasiona derivación interna y precalentamiento del gas en la succión. Cuanto más baja sea la velocidad en un tamaño dado, mayor será la derivación interna. Si la velocidad es muy baja, habrá sobrecalentamiento, con posibles daños en los rotores. El fabricante, por tanto, debe especificar la velocidad mínima de funcionamiento.

Si la temperatura de descarga del compresor de espiral rotatoria pasa de 350°F, se deben utilizar rotores enfriados por aceite. También conviene determinar si el fabricante especifica una contrapresión mínima, para evitar el juego entre dientes de los engranes de sincronización. Otra precaución aconsejable es pedir al fabricante que haga un análisis torsional del compresor y de la unidad motriz

La primera velocidad crítica lateral en estos compresores suele ser mayor que la velocidad de funcionamiento. Se debe establecer esa velocidad crítica para el compresor y la unidad motriz, y debe ser, cuando menos, 20% más alta que la máxima de funcionamiento y, además, será la velocidad de disparo si se utiliza unidad con turbina.

Cabe mencionar que estos compresores son muy ruidosos y no suelen tener protección como silenciadores de succión y descarga, y pueden necesitar casetas con aislamiento acústico, pues algunos reglamentos ya lo exigen.

3.5 Condiciones de funcionamiento.

Se debe tener cierta información acerca de a) las condiciones de funcionamiento de cualquier compresor y b) las propiedades del aire, gas o mezcla de gases que se va a comprimir.

El análisis del gas se suele expresar en porcentaje en volumen. Un análisis molar se puede convertir con facilidad en un análisis de porcentaje molar para determinar las propiedades de la mezcla de gases. En los compresores de aire se requiere la humedad relativa o temperatura del bulbo húmedo en la entrada, con la cual se puede determinar la cantidad de humedad que hay en el aire. La razón de los calores específicos, k en donde ($k = C_p/C_v$) se puede expresar a la temperatura de succión. Para un cálculo más exacto, k debe estar a la temperatura promedio durante el ciclo de compresión.

Tabla 3.3 Caracterización de gases.

Mezcla de gases		Peso molecular, M_w	Aportación ^a , % $(W_c/100)$	Calor específico a 150°F, c_p Btu/lb-mol (°F)	Aportación ^b , % $(P_c/100)$	Presión crítica, P_c , psia	Aportación ^c , % $(P_c/100)$	Temperatura crítica, T_c , °R	Aportación ^d , % $(T_c/100)$
Componente	Moles, %								
Hidrógeno	85	2.016	1.714	6.94	5.899	327	278	83	71
Metano	9	16.04	1.444	8.95	0.805	673	61	344	31
Etano	3	30.07	0.902	13.77	0.413	706	21	550	17
Propano	2	44.09	0.882	19.53	0.390	617	12	666	13
Isobutano	0.5	58.12	0.291	25.75	0.129	529	3	735	4
n-Butano	0.5	58.12	0.291	25.81	0.129	551	3	766	4
Total	100		5.524		7.754		378		140

Los factores de compresibilidad, que indican la desviación con respecto a un gas ideal, se dan o calculan en la condición de succión y de descarga. Para el aire o un gas puro hay disponible graficas de factores de compresibilidad, como funciones de la presión y temperatura reales. Si no se cuenta con esas graficas para gases mezclados se acostumbra utilizar las tablas generales de compresibilidad^{1,2,3,4} que requieren calcular la presión reducida, P_r y la temperatura reducida, T_r . Estos términos se definen mediante $P_r = P/P_t$ y $T_r = T/T_t$, en donde P_r T_r son la presión y temperatura reducida, P y T son presión psia y la temperatura crítica °R, de la

mezcla. Para demostrar las diversas relaciones, se examinara el procedimiento para una mezcla de gases.

Ejemplo 1. Una mezcla típica de hidrogeno y gas hidrocarburo tiene la composición indicada en la tabla 3.3. Se trata de encontrar el peso molecular, la razón de los calores específicos, la presión critica y temperatura critica. Los cálculos para los componentes de la mezcla se presentan en la tabla 3.3 junto con los datos pertinentes de cada componente puro. La razón de los calores específicos, k , se calcula como sigue:

$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{c_p - 1.986} = \frac{7.764}{7.764 - 1.986} = 1.343 \dots\dots\dots \text{ecuación 3.3}$$

Para este ejemplo, se tomó el calor específico molar, C_p , como 150°F, supuesta como temperatura promedio típica durante el ciclo de compresión, con una temperatura de 100°F en la succión. Si la temperatura promedio varia mucho desde ese valor, se debe utilizar el calor específico molar para la temperatura promedio durante la compresión.

Estos cálculos pueden hacerse con calculadora o computadora; en este caso, se almacenan en la memoria los valores estándar para todos los gases comunes del peso molecular, calor específico molar, presión y temperatura critica.

Las presiones y temperaturas se deben dar en las condiciones de succión, y la presión en las condiciones de descarga, incluso la presión de cualquier carga lateral o requisito intermedio en el ciclo total de compresión. No se da la temperatura de descarga, si no que se calcula para incluir los efectos del aumento de temperatura durante la compresión. Las presiones, por lo general, se expresan en lb/in² manométricas (psia) o en lb/in² absolutas (psia).

Las capacidades se pueden expresar en diversas formas:

Flujo en peso W , lb/h o lb/min.

Gasto referido a las condiciones estándar, que suele ser 14.7 y 60°F en las industrias de procesos químicos, expresado como

PCME: pies cúbicos estándar por minuto

PCHE: pies cúbicos estándar por hora

MMPCDE: millones de pies estándar por días de 24 horas

El gasto, en relación de con las condiciones de succión que suela

Expresar como:

$$\begin{matrix} PCMS, \text{ ft}^3/\text{min} \text{ o } \text{ft}^3/\text{s} \\ Q \text{ o } Q_s, \text{ ft}^3/\text{min}, \text{ o } \text{ft}^3/\text{s}. \end{matrix} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.4}$$

No importa la forma en que se expresa la capacidad en las condiciones de succión para seleccionar el compresor de tamaño correcto. Esta conversión se puede hacer con el empleo de cualquiera de las siguientes relaciones, o todas ellas:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1 z_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2 z_2} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.5}$$

En donde V es el volumen, P es presión absoluta, T es la temperatura absoluta y z es el factor de compresibilidad. En ecuación (i) se puede suponer que el factor de compresibilidad, z1, es de 1.0 si P1 y T1 están a las condiciones estándar de 14.7 psia y 520°R.

$$PCMS = Q_s = W\bar{v} = W/\rho \dots\dots\dots \text{ecuación 3.6}$$

En donde W es el flujo, lb/min, \bar{v} es el volumen específico, ft³/lb³. El volumen específico, \bar{v} , se puede calcular con:

$$\bar{v} = z \left(\frac{1,545}{M_w} \right) \left(\frac{T}{144P} \right) \dots\dots\dots \text{ecuación 3.7}$$

En donde Mw es el peso molecular.

$$PCME = 379.46M/60 \dots\dots\dots \text{ecuación 3.8}$$

En donde M es el flujo, de mol/h

$$W = M(M_w) \dots\dots\dots\text{ecuación 3.9}$$

En donde W es el flujo en peso, lb/h, M es el flujo, mol/h, Mw es el peso molecular.

$$Q_s = (PCMS) = \left[\frac{(MMPCDE) \times 10^6}{60 \times 24} \right] \left(\frac{14.7}{P_s} \right) \left(\frac{T_s}{520} \right) \left(\frac{z_s}{1.0} \right) \dots\dots\dots\text{ecuación 3.10}$$

En donde el subíndice s denota las propiedades en las condiciones de succión.

3.5.1 Carga y caballaje del compresor.

Para cualquier compresor el caballaje requerido es:

$$\begin{aligned} (HP)_{g(ad)} &= WH_{ad}/33.000\eta_{ad} \dots\dots\dots\text{ecuación 3.11} \\ H_{ad} &= \left(\frac{z_s + z_d}{2} \right) \left(\frac{1.545}{M_w} \right) T_s \left[\frac{r_c^{(k-1)/k} - 1}{(k-1)/k} \right] \end{aligned}$$

En donde (HP)_{g(ad)} es el caballaje adiabático, para el gas, hp; W es el flujo en peso, lb/min; H_{ad} es la carga adiabática, (ft-lb)/lb; η_{ad} es la eficiencia adiabática; z_s es el factor de compresibilidad en las condiciones de succión, z_d es el factor de compresibilidad en las condiciones de de carga; Mw es el peso molecular, T_s es la temperatura de succión, °R y r_t es la relación de compresión, es decir P_dP_s.

La temperatura de carga adiabática, T_{d(ad)} °R, es:

$$T_{d(ad)} = T_s r_c^{(k-1)/k} \dots\dots\dots\text{ecuación 3.12}$$

Ciertos tipos de compresores funcionan muy cerca de las condiciones adiabáticas; muchos otros tienen desviaciones de las adiabáticas, y el ciclo de compresión se debe considerar como politrópico en este caso, las relaciones necesarias son:

$$\begin{aligned} (HP)_{g(pol)} &= WH_{pol}/33.000\eta_{pol} \dots\dots\dots\text{ecuación 3.13} \\ H_{pol} &= \left(\frac{z_s + z_d}{2} \right) \left(\frac{1.545}{M_w} \right) T_s \left[\frac{r_c^{(n-1)/n} - 1}{(n-1)/n} \right] \end{aligned}$$

En donde (HP)g(poli) es el caballaje politrópico para el gas, hp, W es el flujo en peso, lb/min, H(poli) es la carga politrópica, (ft-lb)/lb; η (poli) es la eficiencia politrópica z_s y z_d son los factores de compresibilidad para las condiciones de succión y de descarga, Mw es el peso molecular, Ts es la temperatura de succión °R, y r_t es la relación de compresión.

La temperatura de descarga politrópica, T_d (poli) se calcula con:

$$T_{d(poli)} = T_s r_c^{(n-1)/n} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.14}$$

El valor de la cantidad n en las diversas relaciones politrópicas se obtiene con:

$$\left(\frac{n-1}{n}\right) = \left(\frac{k-1}{k}\right) \left(\frac{1}{\eta_{poli}}\right) \dots\dots\dots \text{ecuación 3.15}$$

Cuando se utilizan las tablas de las propiedades de los gases o los diagramas de Mollier para hacer los cálculos del compresor, la carga adiabática, H_{ad} se obtiene con:

$$H_{ad} = 778\Delta h \dots\dots\dots \text{ecuación 3.16}$$

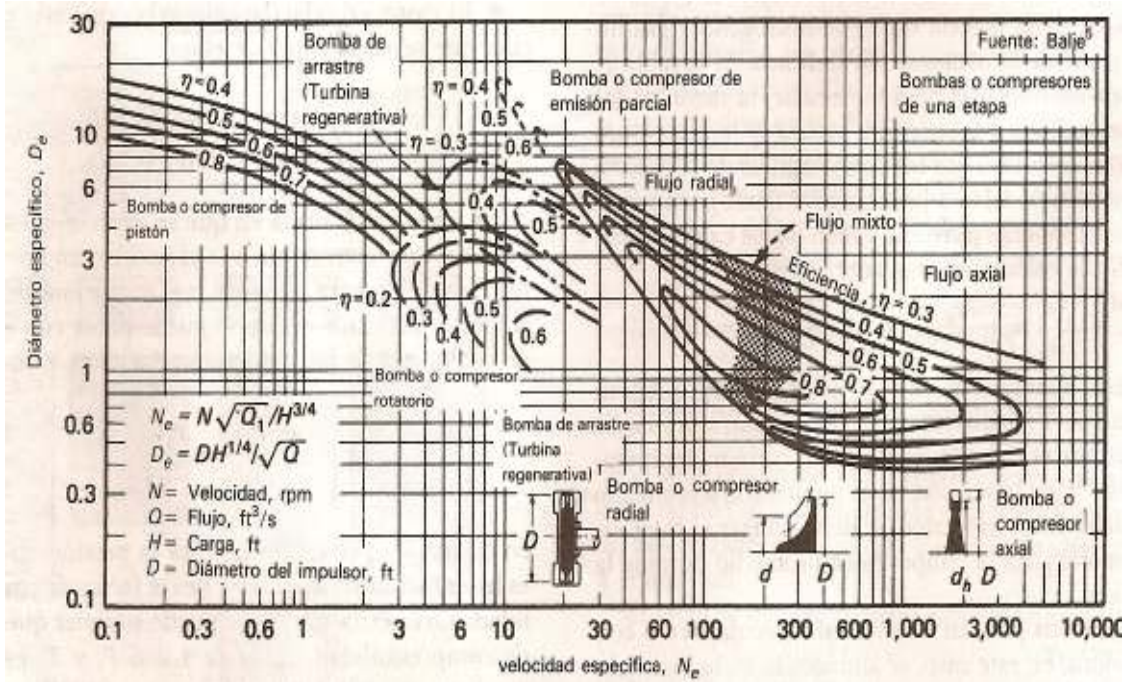


Figura 3.9 La velocidad específica y el diámetro específico permiten la selección inicial de un tipo definido de compresor de una etapa.

En donde h es la entalpía, Btu/lb.

La relación de la eficiencia adiabática a la eficiencia politrópica es:

$$\eta_{ad} = \left[\frac{(r_c^{(k-1)/k} - 1)}{(r_c^{(n-1)/n} - 1)} \right] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.17}$$

3.5.2 Velocidad específica.

La velocidad especifica, Ns, es un número índice para los impulsores o rotores de los diversos tipos de bombas y compresores. La definición es la misma para ambos

$$N_s = N\sqrt{Q}/H^{3/4} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.18}$$

Cuando se utiliza la ecuación (3.18) para compresores, la velocidad N se expresa como rpm, la capacidad Q en ft³/s en las condiciones de succión, y la carga H, en (ft-lb)/lb.

Otra cantidad adimensional para impulsores o rotores es el diámetro específico, D_s, definido con:

$$D_s = \frac{DH^{1/4}}{\sqrt{Q}} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.19}$$

En donde D es el diámetro del impulsor o el rotor, ft.

Balje preparo una grafica de velocidad específica (fig. 3.9) en la cual se combinan las relaciones de las ecuaciones 3.18 y 3.19. Si se utiliza esta grafica, debe de ser sobre la base de carga por etapa; es decir, se debe seleccionar cada impulsor o etapa con respecto a la capacidad de entrada y carga para esa etapa. Aunque la experiencia que se tenga con los compresores de tipos existentes muchas veces no requerirá consultar la figura 3.9, esta ofrece una correlación lógica para seleccionar el tipo de compresor para aplicación dada. En los siguientes ejemplos se ilustrara el empleo de la figura 3.9.

Ejemplo 2. Se hará la selección preliminar de un compresor para mejorar 90000 PCMS de aire cuando las condiciones en la succión son 14.3 psia, 90°F y 70% de humedad relativa. La presión de descarga de 22.3 psia, el peso molecular = 28.59, $k = c_p / c_v = 1.395$. Se supondrá un impulsor con diámetro D de 55 in y velocidad de rotación N de 3550 rpm.

Para poder utilizar la figura 3.9, hay que encontrar la velocidad y el diámetro específico con las ecuaciones 3.18 y 3.19. Para ello, primero se calcula el flujo de aire a la entrada, $Q_s = 90000/60 = 1500$ ft³/s y la carga adiabática con la ecuación 3.11; hay que recordar que los factores de compresibilidad son unitarios en estas condiciones. Por tanto:

$$H_{ad} = \left(\frac{1.545}{28.59} \right) (550) \left[\frac{(22.3/14.3)^{0.283} - 1}{0.283} \right] = 14.072$$

$$N_s = \frac{3.550 \sqrt{1500}}{(14.072)^{3/4}} = 106.4 \quad \dots\dots\dots \text{ecuación 3.19}$$

$$D_s = \frac{(55/12)(14.072)^{1/4}}{\sqrt{1500}} = 1.29$$

Como el empleo de estos valores en la figura 3.9, se encuentran que un compresor centrífugo con impulsor sencillo, de flujo radial, será el que ofrezca máxima eficiencia.

3.5.3 Selección de compresores centrífugos.

Los compresores centrífugos son los que más se utilizan en las industrias de procesos químicos porque su construcción sencilla, libre de mantenimiento, permite un funcionamiento continuo durante largos periodos.

El compresor centrífugo más sencillo es el suspendido, de una sola etapa. Los hay disponible para flujo desde alrededor de 3000 hasta 150000 PCMS. El impulsor convencional, cerrado o con placas (fig. 3.10), se utilizara para cargas adiabáticas hasta de unas 12000 (ft-lb)/lb. El impulsor abierto, de álabes radiales (fig. 3.10), producirá más carga con los mismos diámetros y velocidad; sus variantes, con inductor o con álabes tridimensionales producirán hasta 20000 (ft-lb)/lb de carga.

Se utilizan diseños similares, hechos con materiales más resistentes y a velocidades más altas, en aplicaciones especiales como compresores de aire con

engranes integrales, para aplicaciones aeroespaciales, en turbo cargadores para motores de combustión compresores de carga, etc.

3.6 Compresor centrífugo de etapas múltiples.

Cuando la carga requerida es muy grande para un solo impulsor, la solución lógica son dos o más impulsores en serie, que forman los compresores de etapas múltiples, que tienen muchas aplicaciones. El mas común es el de carcasa dividida horizontalmente con impulsores en serie, cuyo número puede variar de tres a ocho con o sin interenfriamiento, como se ilustra seis páginas atrás.

Hay disponibles algunos para flujo desde 1000 hasta 100000 PCMS, con cargas politrópicas totales de 20000 a 100000 (ft-lb)/lb, con base en el numero de impulsores o etapas de cada carcasa. Estas carcasas, a veces, están dispuestas con impulsores opuestos para la compensación parcial de empuje y para simplificar los problemas de diseño de cojinetes de empuje, tambores de compensación y sellos para los ejes.

En las carcasas divididas verticalmente o de barril, hechas con acero soldado, fundido o forjado, se utiliza una disposición similar en los impulsores,; estas carcasas son más adecuadas para altas presiones que las de divisiones horizontales.

La actual Norma API 617 para compresores centrífugos, especifica que las cagas tipo barril se deben utilizar para presiones superiores a unas 200 a 250 psig si el contenido de hidrogeno de la mezcla de gases es de 70% o mayor, para evitar les fugas; sus capacidades son entre 1000 y 100000 PCMS, y se han construido carcasas para presiones hasta de 10000 psig.

Tabla 3.4 Método para carga politrópica total.

Cálculo para compresor centrífugo			
Identificación	Compresor de recirculación	Selección alterna	Fuente o explicación
Capacidad MMPCDE	80	Misma	Dada
Capacidad, W , lb/h	—	←	Dada (a veces)
Capacidad de succión, Q , PCME	—	←	Ecuación (5)
Presión de succión, P_s , psia	2 961	←	Dada
Temperatura de succión, °F	300	←	Dada
Temperatura de succión, °R	100	←	Dada
Humedad relativa, %	560	←	Dada (si es aire)
Presión de descarga, P_d , psia	—	←	Dada
Peso molecular, M_w	450	←	Dada
Constante del gas, $R = 1 545/M_w$	5 524	←	Dada
Constante del gas, $R = 1 545/M_w$	279.69	←	Calculada
Razón de calores específicos, k	1.343	←	Dada o calculada. Véase tabla I
Compresibilidad en la succión, z_s	1.01	←	Dada o calculada. Véase tabla I
Compresibilidad en la descarga, z_d	1.022	←	Dada o calculada. Véase tabla I
Compresibilidad promedio ($z_s = z_d$)/2	1.016	←	Calculada
Volumen específico, \bar{v} , ft ³ /lb	3.66	←	Véase Ecuación (2)
Flujo en peso, W_s , lb/min	809	←	Véase Ecuación (2)
Exponente del calor específico, $(k - 1)/k$	0.255	←	Calculada
Velocidad acústica en la entrada, U_s , ft/s	2 616	←	$U_s = \sqrt{kgRT_s z_s}$
Relación de compresión, $r_c = P_d/P_s$	1.5	←	Calculada
Coefficiente de carga, μ	0.49	←	Tabla IV
Eficiencia politrópica, η_{pol} , %	73	←	Figura 4
Diámetro nominal del impulsor, D , in	18	←	Tabla IV
Razón del exponente politrópico, $(n - 1)/n = Y$	0.349	←	$Y = \frac{(k - 1)/k}{\eta_{pol}}$
$(r_c)^Y$	1.152	←	Calculada
Temperatura de descarga, politrópica, T_d , °R	645	←	$T_d = T_s(r_c)^Y$
Temperatura de descarga, politrópica, T_d , °F	185	←	
Carga politrópica, H_{pol} , (ft-lb)/lb	69 307	←	Ecuación (10)
Caballaje del gas, $(HP)_{pol}$, hp	2 328	←	Ecuación (9)
Pérdida de caballaje en cojinetes, hp	28	34	Selecciónese en la figura 6
Pérdida de caballaje en sellos, hp	27	35	Selecciónese en la figura 6
Pérdida de caballaje, caja de engranes	0	0	Ninguno. Empleése turbina de vapor. Estímese en un 2% del caballaje del gas
Caballaje total al freno, bhp	2 383	2 397	
Velocidad en la punta de impulsor, máxima, U , ft/s	900 ⁺		$U \leq 0.9$ a $1.0(U_s)$
Velocidad en la punta de impulsor, real, U , ft/s	807	871	$U = \sqrt{\frac{H_{pol} g}{N_{st} \mu}}$
Número de etapas, N_{et}	7	6	Con la relación precedente
Tamaño o designación del cuerpo (carcasa)	# 2	# 2	Tabla IV o con el fabricante
Velocidad de rotación, N , rpm	10 267	11 081	$N = 229U/D$
Coefficiente de flujo en la succión, ϕ_s	0.0346	0.0321	Ecuación (17)
Coefficiente de flujo en la descarga, ϕ_d	0.0269	0.0249	Ecuación (17)

El compresor de aire más común en la actualidad es el de tres o cuatro etapas con interenfriador, como el ilustrado ocho paginas atrás, en tamaños que van desde 500 hasta 70000 PCMS, basados en aire atmosférico comprimido a 125 psig. En servicios con gases, en especial si son corrosivos, tóxicos o están sucios, no se utilizan mucho. En este tipo, los impulsores estas montados sobre ejes de piñones que giran a diversas velocidades en las etapas sucesivas. Esto le permite al diseñador lograr óptimas dimensiones y eficiencia con un volumen de aire o de gas que se reduce en forma continua, debido a la compresión. Esto permite que el compresor sea más eficiente que los convencionales de un solo eje de gas o aire.

Un derivado de compresor de etapas múltiples, que se utiliza mucho, es el tipo de carcasa con tornillos externos o modulares, destinado a servicio con aire o gas a baja presión. Se utiliza para flujos de entre 400 y 20000 PCMS con carga hasta de 18000 a 20000 (ft-lb)/lb. La carcasa se ensambla por módulos, que son anillos en forma de rosca que contienen, cada uno, una sección de difusor y un impulsor; funciona de 3000 a 40000 rpm, lo que permite el empleo de cojinetes de bolas con anillo de aceite o lubricado, en vez de de los mas costosos de acero forjado que se utilizan en compresores de velocidades mas altas.

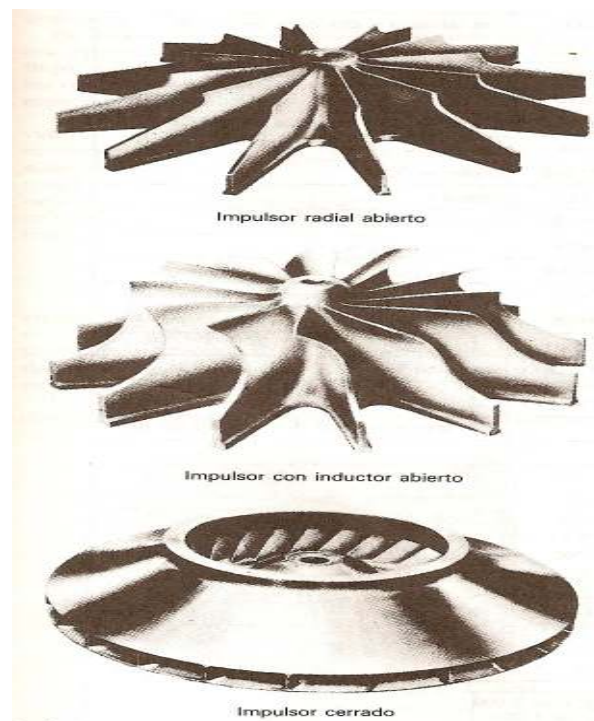


Figura 3.10 Impulsores de una etapa para compresores.

También hay tipos modulares para velocidades mas altas, para flujos de 500 a 15 000 ft³/min y cargas hasta de de 60 000 ft, con una sola carcasa. Este tipo modular tiene cojinetes, sellos, eje e impulsor para alta velocidad, pero cuesta mucho menos que el de etapas múltiples con carcasa dividida en sentido horizontal.

Tos esos tipos tiene limitaciones mecánicas, debidas a la rapidez y los cojinetes, flexión de l eje, velocidad critica y problemas dinámicos con el rotor. Cuando el proceso requiere mayor carga a la que se puede producir con el número máximo de impulsores en una sola carcasa, se pueden utilizar dos o tres carcasa en serie hasta con 25 o 30 impulsores en serie. Le selección de esta combinación también requiere determinar lo siguiente, es decir, a) calcular los PCMS (ft³/min en la succión) con cualquier carcasa que se considere, b) carga adiabática o politrópica total en esa etapa o sección y c) hacer concordar los tamaños y velocidades disponibles para carcasas e impulsores, con engranes de reducción de velocidad o sin ellos, para obtener la serie completa de carcasas.

Antes de seleccionar un compresor de etapas múltiples, hay que tener muy en cuenta el aumento de temperatura durante la compresión. Si las temperaturas son superiores a 350°F, se debe incluir algún sistema para enfriar el gas, con el fin de evitar el riesgo con los gases calientes de descarga o problemas con los materiales de construcción a altas temperaturas. Por lo general, se necesitan interenfriadores para los gases después de cada etapa, antes de que haya compresión adicional (en algunos tipos) o después de cada cierto numero de etapas.

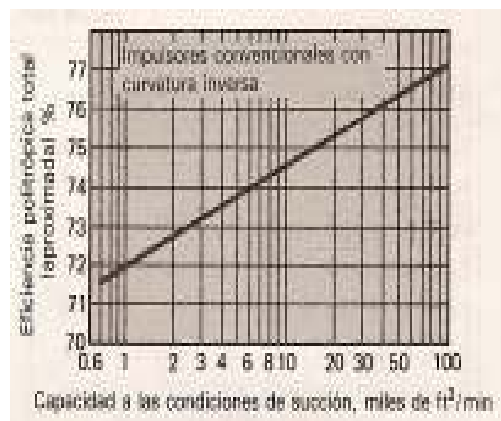


Figura 3.11 Eficiencia de compresores centrífugos de etapas múltiples.

3.7 Métodos para cálculos.

El flujo en peso, la capacidad de succión, la carga adiabática o la poli trópica y el caballaje aproximado se pueden calcular con rapidez mediante las relaciones básicas ya descritas. En los dos ejemplos siguientes se resumen los procedimientos.

Ejemplo 3. Hay que hacer una selección preliminar de un compresor centrífugo para manejar 80 MMPCDE de un gas recirculado con peso molecular de 5.524. Se utilizaran los métodos para una carga poli trópica total. En la tabla II aparecen otros datos pertinentes y los cálculos requeridos.

Ejemplo 4. Se hará una selección preliminar de un compresor centrífugo para manejar una corriente principal de 64 200 lb/h y una corriente lateral adicional de 42 300 lb/h de propano. Se utilizara el método que requiere un diagrama de Mollier. En la tabla III aparecen otros datos pertinentes y los cálculos requeridos.

Para efectuar los cálculos de los ejemplos 3 y 4, se necesitarán información y explicación adicionales del contenido de la tabla II Y III.

En la figura 3.11 y en la tabla IV aparecen algunos valores representativos de la eficiencia poli trópica, límites de flujo, diámetro del impulsor y coeficiente de carga para los compresores que hay en el mercado. Para datos más específicos, se debe consultar al fabricante.

En el coeficiente de carga μ y el coeficiente ϕ , son valores adimensionales que se utilizan para describir el rendimiento de cualquier impulsor sencillo o grupo de ellos en el compresor. La relación se puede presentar como curva de rendimiento (Fig. 3.12). Se escoge el valor de μ ala máxima eficiencia, o cerca de ella, para la selección primaria. Los coeficientes de carga y de flujo se definen con:

$$\mu = H_{stg} / U^2 \dots\dots\dots \text{ecuación 3.20}$$

$$\phi = 700QS/ND^3 \dots\dots\dots \text{ecuación 3.21}$$

En donde H_{st} es la carga por etapa, ft., g es la constante de gravedad, 32.2 ft/s^2 , U es la velocidad en la punta del impulsor, ft/s , Q es la capacidad en la entrada, ft^3/min , N es la velocidad del impulsor, rpm , y D es el diámetro del impulsor, ft .

Los valores reales de μ y la forma de la curva dependen del diseño del impulsor. Se necesita información adicional al respecto al punto de oscilación (inestabilidad) y el aumento en la carga, antes de tratar de calcular la forma de una curva real.

Después de determinar el caballaje para el gas con cualquiera de los métodos, se deben sumar las pérdidas de caballaje por fricción en los cojinetes, sellos y engranes de reducción. En la figura 6 se muestran las pérdidas probables para compresores convencionales de etapas múltiples, con base en que tengan sellos de película de aceite.

Todos estos cálculos solo dan resultados preliminares. El diseñador del compresor hacen determinaciones más exactas con base en los datos de un impulsor, lo cual permite una selección "rueda a rueda" en la que el rendimiento de cada una se determina sobre las bases de sus condiciones específicas en la entrada y después se suman para obtener el rendimiento total.

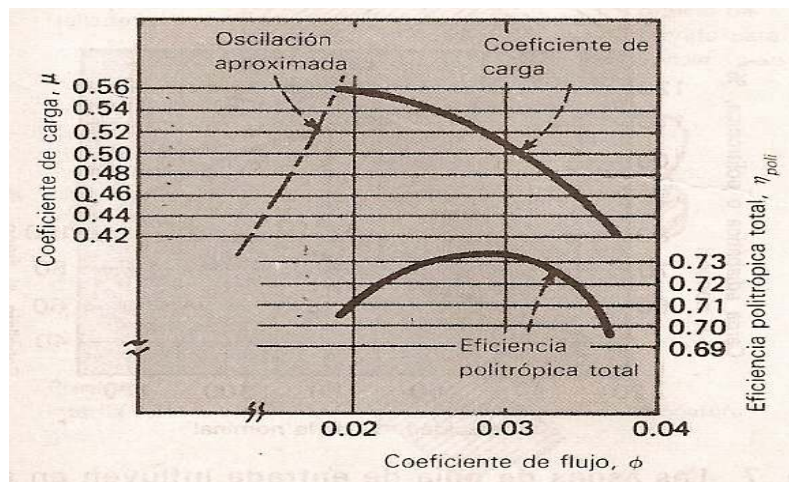


Figura 3.12 Rendimiento de un compresor centrífugo.

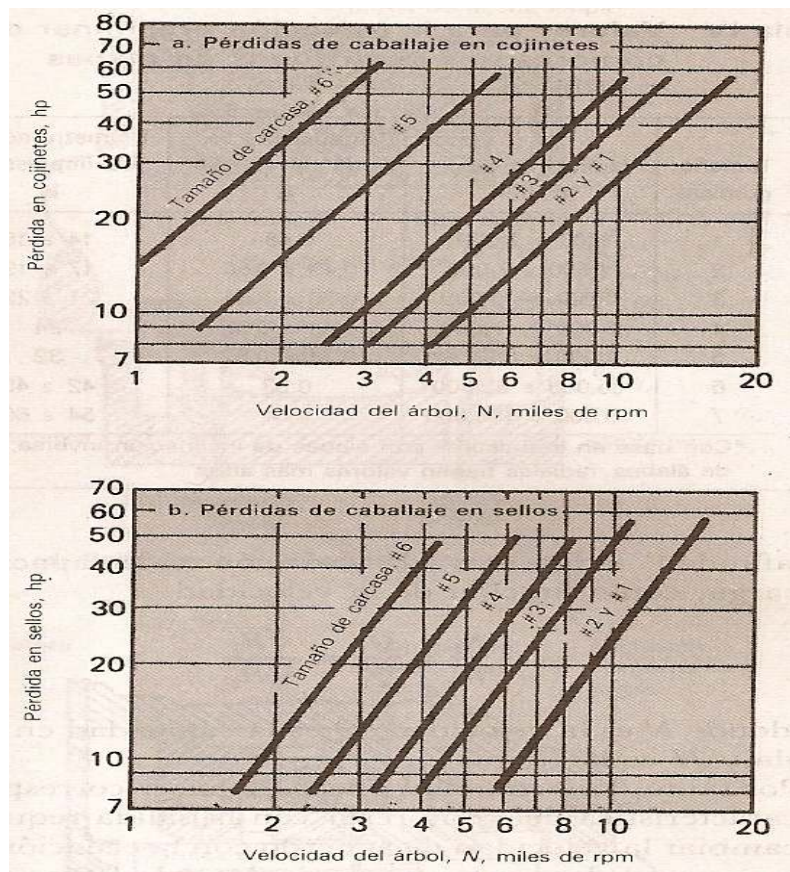


Figura 3.13 Pérdidas por fricción en cojinetes y sellos.

3.8 Control de los compresores centrífugos.

Cuando cambia cualquiera de los siguientes parámetros: peso molecular, razón de los calores específicos, presión o temperatura de succión o descarga, con respecto al flujo, se llega a un punto diferente en la curva de carga contra capacidad en cualquier compresor, pues este produce carga, pero no presión.

Tabla 3.5 Valores para la selección preeliminar de compresores centrífugos de etapas múltiples.

Tamaño nominal	Límites de flujo, ft ³ /min	Coefficiente de carga*, promedio, μ	Diámetro nominal del impulsor, D , in
1	800 a 2,000	0.48	14 a 16
2	1,500 a 7,000	0.49 a 0.50	17 a 19
3	4,000 a 12,000	0.50 a 0.51	21 a 22
4	6,000 a 17,000	0.51 a 0.52	24
5	8,000 a 35,000	0.51 a 0.52	32
6	35,000 a 65,000	0.53	42 a 45
7	65,000 a 100,000	0.54	54 a 60

*Con base en impulsores con álabes de inclinación inversa; los de álabes radiales tienen valores más altos

En los compresores y sopladores (ventiladores) centrífugos se aplica las “leyes de los ventiladores” o “leyes de afinidad” referentes a la variación en la capacidad y la carga, como función de la velocidad.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.22}$$

En donde N es la velocidad, Q es la capacidad en la entrada y H es la carga.

Por lo tanto, la forma más eficaz de hacer corresponder la característica del compresor con la salida requerida es cambiar la velocidad de acuerdo con la ecuación (3.22).

Esta es una de las ventajas principales del empleo de turbinas de vapor o de gas para impulsar el compresor, por que son idóneas para funcionar con velocidad variable. Con estas unidades motrices, el operador puede controlar la velocidad en forma manual al ajustar el regulador de la turbina. O bien, el ajuste de velocidad puede ser automático con un controlador neumático o electrónico, que cambia la velocidad en respuesta a una señal de flujo o de presión.

Para unidades motrices de velocidad constante, como los motores eléctricos el compresor se debe controlar en una de las tres formas:

1. Aspas de guía de la admisión (la más eficiente)
2. Estrangulación de la presión de succión.
3. Estrangulación de la presión de descarga (la menos eficiente)

Las aspas o paletas de guía de la admisión son aspas fijas de ajuste manual o automático en la entrada a la primera etapa (y a veces en las sucesivas) que hacen que cambien el ángulo con relación al impulsor giratorio. Esto cambia la característica de flujo en respuesta a las variaciones de los requisitos de carga. En la figura 7 se ilustra el efecto de este control sobre la carga y la capacidad. Aunque las aspas de guía de admisión son las más eficientes, hay que estudiar el aspecto económico por que son costosos, complejas en algunos tipos de máquinas y son un componente adicional que requiere mantenimiento y ajuste.

Un término medio para lograr sencillez y eficiencia suele ser la estrangulación de la succión. Esto produce una presión de succión ligeramente más baja que la de diseño y produce una carga total más elevada si la presión de descarga permanece constante; lo que se puede hacer concordar con la curva de carga con flujo reducido. Cuando se estrangula la succión, se reduce la densidad del gas y se llega a tener correspondencia entre el flujo en peso requerido con la capacidad de volumen de succión del compresor en otros puntos de la curva de carga contra capacidad.

El método de control menos eficiente es la estrangulación de la carga. Con un flujo reducido, el compresor produce carga (y presión) mayores que las que necesita el proceso; esta se estrangula antes de que lleguen al equipo, pero el caballaje para la compresión se desperdicia y de ahí proviene la ineficiencia relativa. Sin embargo, este método tiene la ventaja de que es muy sencillo, y se aplica a menudo en compresores de poco caballaje, en donde no importa la ineficiencia.

3.8.1 Control de oscilaciones en compresores centrífugos.

Todos los compresores dinámicos tienen un intervalo limitado de capacidad a fija, para una selección dada de impulsores. Por debajo del valor mínimo, que suele ser de 50 a 70% del nominal, el compresor tendrá oscilaciones; es decir, inestabilidad de funcionamiento. Entonces, pueden ocurrir vibraciones excesivas o fallas o paros repentinos.

Es esencial diseñar todos los sistemas de compresores para evitar oscilaciones (inestabilidad) cuando funcionan y, por lo general se logra utilizando algún tipo de control antioscilación. El más sencillo se utiliza en los compresores de aire y consiste en una válvula de purga automática, que se abre y deja salir el exceso de capacidad a la atmósfera, si el flujo requerido es muy bajo. A veces, se utilizan métodos más eficientes a base de válvulas de control de la succión.

Nota: también hay unidades motrices con motor eléctrico de velocidad variable, pero rara vez se emplean en las industrias de procesos químicos. Los motores de dos velocidades o de rotor devanado de velocidad múltiple pueden ser un problema en zonas peligrosas. Los embragues o acoplamientos eléctricos o hidráulicos pueden ocasionar problemas de mantenimiento y suelen ser ineficientes cuando trabajan en condiciones que no son de diseño.

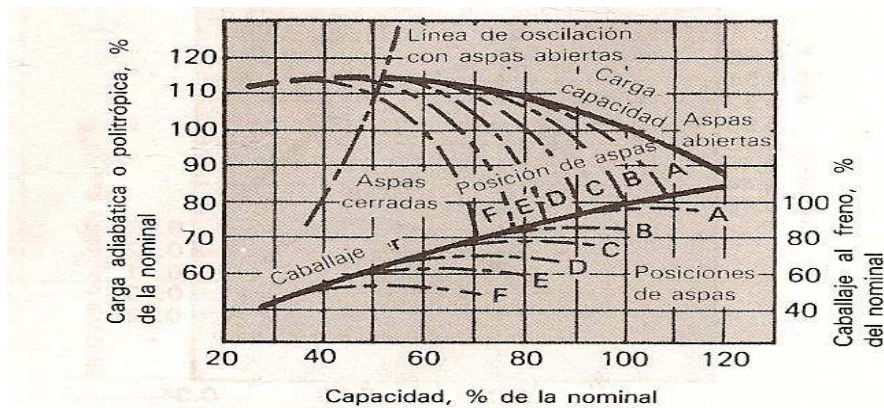


Figura 3.14 Las aspas de guía de entrada influyen en el rendimiento.

Con un gas que no se puede desperdiciar, el control antioscilación más común es un control de derivación, o sea el que devuelve el flujo indeseado a la fuente de succión. Como este gas ha sido comprimido y su temperatura es más alta, hay que enfriarlo antes de que entre por segunda vez en el compresor, y se puede necesitar un enfriador en la derivación. En sistemas en donde la fuente de succión es de tamaño suficiente o está a cierta distancia, con lo cual el calor se disipa por mezclado o radiación, quizá no se necesite el enfriador.

Hay en el mercado algunos sistemas antioscilación, que fabrican empresas especializadas en control de procesos. Quizá sea preferible comprar el sistema que diseñarlo.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL SIMULADOR DE COMPRESORES CENTRÍFUGOS.

4.1 Plataforma de operación y programas.

El tutorial esta desarrollado para que cualquier usuario pueda utilizar el tutorial, por lo cual se selecciona realizarlo en el sistema operativo mas utilizado en el Tecnológico de Minatitlán Windows de Microsoft Office. La plataforma de operación es Windows, en sus versiones XP, millenium, 2000 o 98, en sus ediciones Home o Professional. Los programas utilizados son Flash de la suite Macromedia, para el caso de las interfases de formación del usuario y una hoja de cálculo en Excel, como apoyo para la solución de algunos problemas planteados.

4.1.1 Software para la elaboración de interfases de usuario.

El software utilizado es Flash MX, y tal como lo describe el manual de flash, Las películas de Flash son imágenes y animaciones para los sitios Web. Aunque están compuestas principalmente por imágenes vectoriales, también pueden incluir imágenes de mapa de bits y sonidos importados. Las películas Flash pueden incorporar interacción para permitir la introducción de datos de los espectadores, creando películas no lineales que pueden interactuar con otras aplicaciones. Los diseñadores de la Web utilizan Flash para crear controles de navegación, logotipos animados, animaciones de gran formato con sonido sincronizado e incluso sitios Web con capacidad sensorial. Las películas Flash son gráficos vectoriales compactos que se descargan y se adaptan de inmediato al tamaño de la pantalla del usuario.

Es más que probable que haya visto e incluso utilizado películas Flash en muchos sitios Web, navegadores o software del sistema; otros lo han descargado desde el sitio Web de Macromedia. Flash Player reside en el PC local, donde puede reproducir películas en navegadores o como aplicaciones independientes. Ver una película de Flash en Flash Player es similar a ver una cinta de vídeo en un aparato de vídeo, siendo Flash Player el dispositivo que se utiliza para ver las películas creadas con la aplicación de creación de Flash. El trabajo en Flash para la creación de una película incluye el dibujo o la importación de una ilustración, su organización

en el Escenario y su animación con la Línea de tiempo. La película puede hacerse interactiva utilizando acciones que hagan que la película responda a determinados eventos de cierta manera. Una vez terminada la película, es posible exportarla para verla en Flash Player o bien como un proyector de Flash independiente, lo cual permite verla con un reproductor que se incluye con la película misma. Las películas de Flash pueden reproducirse de varias formas:

- En navegadores Internet, tales como Netscape Navigator y Microsoft Internet Explorer, que estén equipados con Flash Player.
- Con el control ActiveX de Flash en Microsoft Office, Microsoft Internet Explorer para Windows y otros entornos anfitrión de ActiveX.
- En Flash Player, una aplicación independiente de manejo similar al complemento Flash Player.
- Como un proyector independiente, un archivo de película que se puede reproducir sin disponer de Flash Player.

Flash le permite animar objetos para dar la impresión de que se mueven por el Escenario, así como cambiar su forma, tamaño, color, opacidad, rotación y otras propiedades.

También puede crear animación fotograma a fotograma, creando una imagen diferente para cada fotograma. Otra posibilidad consiste en crear animación interpolada, es decir, crear los fotogramas primero y último de una animación y dejar que Flash cree los fotogramas intermedios.

Los PC muestran imágenes en formato vectorial o de mapa de bits. Es muy importante comprender la diferencia existente entre ambos formatos para poder utilizarlos de la forma más eficaz. Flash permite crear y animar gráficos vectoriales compactos.

También permite importar y manipular gráficos vectoriales y de mapa de bits creados en otras aplicaciones, esto último es de mucha utilidad para crear películas e importarlas al tutorial.

4.1.2 Software para la elaboración de la hoja de cálculo.

El software utilizado para la elaboración de las hojas de cálculo es Excel de Office, en su versión 2003, compatible con Office 2000 y millenium. Los complementos utilizados para el desarrollo e implementación es el TPX (complemento desarrollado por David G. Goodwin), el cual puede ser descargado desde Internet, siendo este una base de datos de las propiedades del vapor y otras sustancias, las cuales pueden ser vinculadas a la hoja de calculo y modificadas de forma automática al ser programadas en la hoja de calculo. Estas hojas de cálculo permiten al usuario desarrollar cálculos estequiométricos de la combustión, calculo de valor calórico bajo, consumo de combustible, eficiencias del generador de vapor y en general la prueba termotecnica de un generador de vapor; además incluye el cálculo exergético y termoeconomico. De manera que el usuario ingresara datos y obtendrá resultados para comparar y entender de una mejor manera estos conceptos.



Figura 4.1 Aplicación del TPX en el la hoja de calculo.

4.2 Menú del usuario.

El menú del usuario son las opciones generadas que cumplen con diferentes procesos propuestos por el Instituto tecnológico de Minatitlán así como los expertos en metodologías energéticas. Las interfases de usuario pueden ser accesibles a través de un menú de botones programados para navegar entre las simulaciones, submenú y menú principal. La programación realizada se ha dirigido a objetos, esto quiere decir que con un clic, o arrastrando al Mouse se pueden ejecutar acciones.

Entrada de Parámetros Termodinámicos

TEMPERATURA DE ENTRADA = 20.00 °C	TEMPERATURA DE SALIDA = 56.00 °C
PRESIÓN DE ENTRADA = 4.00 BARES	PRESIÓN DE SALIDA = 26.00 BARES

MENU PRINCIPAL	TABLA GENERAL	RESULTADOS	COMPOSICIÓN DEL GAS
----------------	---------------	------------	---------------------

Figura 4.2 Hoja de introducción de datos en Excel.

En la hoja 2, se puede visualizar una tabla resumen con los datos de cada una de las corrientes, esta hoja muestra los valores de entropía, entalpía, presión, temperatura, densidad, volumen específico, exergía, exergía específica, costo exergético y costo exergético específico.

# DE ENTRADA	# DE SALIDA	Q	AH D1	AH D2	AH TOTAL	AS D1	AS D2	AS IDEAL	AS TOTAL
4.158254179	19.99865699	0.0093258	0.53900708	31.3621533	77.5125604	0.00941361	0.030153393	-0.611945809	-0.640685592
4.104695216	19.74107116	0.0003393	-172.0644368	-1062.86479	891.125546	1.308E-05	-3.12064E-05	-0.379871247	-0.37982696
4.091838577	19.6792386	0.0072369	-4.824274099	-59.9892293	59.6645423	0.00062949	0.002330429	-0.256912307	-0.256613249
4.069427631	19.57149567	0.0052173	-18.54458115	-120.953923	106.422768	0.00021199	0.001012475	-0.116615257	-0.117215759
4.045996037	19.45876405	0.0024079	-50.82994869	-322.203879	272.947117	0.00010428	0.000186139	-0.038599466	-0.03859133
4.101290396	19.72469587	0.0006931	-151.8778274	-938.955042	787.198875	6.2303E-06	-3.89951E-05	-0.219276844	-0.219231619
4.044425668	19.45121149	0.0011346	-107.085311	-675.378803	569.014784	3.9333E-05	-6.10923E-05	-0.039433617	-0.039333092
4.02351243	19.35063166	0.0021335	-66.82137352	-424.602736	358.761128	7.0468E-05	5.38232E-05	0.005624021	0.005640666
3.999505182	19.2351715	0.0018837	-85.94024917	-544.976648	459.759939	4.6417E-05	-2.44899E-05	0.036704055	0.036774962
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.190845273	20.1554002	0.0303721	7.682238661	38.0339262	88.7406723	0.0134882	0.056227972	-0.452472921	-0.404216076

Figura 4.3 Hoja de resumen de corriente del GV en Excel.

En la hoja 3, se puede visualizar la prueba termotecnica del GV, muestra los cálculos de los volúmenes productos de la combustión, entalpías de aire frío, agua,

vapor y GPC, consumo de combustible, valor calórico del combustible y eficiencia de la caldera.

Caracterización De Entrada y Salida

PARAMETROS	UNIDADES	ENTRADA	SALIDA
\dot{m}_a	Kg/Kmol		19.894
T_a	°K		213.201
P_a	BAR		45.090
T_i	°K	1.375	1.344
η	KJ/Kg°K		0.418
η_c	adim		1.289
CP	KJ/Kg°K	2.113	2.244
CV	KJ/Kg°K	1.895	1.828
Z	adim	0.987	0.987
Vol. Esp.	m ³ /Kg	0.239	0.050
ρ	Kg/m ³	4.191	20.155
α	adim		0.030
\dot{Q}_{1-2}	KJ/Kg		7.882
\dot{Q}_{1-3}	KJ/Kg		38.034
$\dot{Q}_{11 real}$	KJ/Kg		88.741
\dot{Q}_{1-11}	KJ/Kg°K		0.013
\dot{Q}_{1-12}	KJ/Kg°K		0.055
$\dot{Q}_{1-13 real}$	KJ/Kg°K		-0.452
$\dot{Q}_{1-13 real}$	KJ/Kg°K		-0.494

Figura 4.4 Hoja de prueba termotecnica del GV en Excel.

En la hoja 4, es una hoja de salidas, se puede visualizar los resultados de la prueba termotecnica y además tiene un menú con hipervínculos que pueden llevar al usuario a diferentes partes de hojas de calculo.

CARCATERIZACIÓN DE COMPRESOR

PARAMETROS	UNIDADES	ENTRADA	SALIDA
T_{amb}	°C		154.584
η_c	adim		1.074
η	adim		5.302
ρ	Kg/m ³	4.191	20.155
Rel. Comp.	adim		3.500
$\dot{Q}_{1-13 real}$	KJ/Kg		88.741
Potencia electrica real	KW		2.109.284
ΔT_{real}	°C		89.000
ΔT_{ideal}	°C		128.584
Potencia electrica ideal	KW		11.500.734
Consumo polipropileno	KW		-9.331.450
Flujo Masico	Kg/S		24.445

Resultados

Figura 4.5 Hoja de datos de salida de prueba termotecnica del GV en Excel.

ANALISIS EXERGETICO

PARAMETROS	UNIDADES	VALORES
e_1	KJ/Kg	132.983
e_2	KJ/Kg	387.290
Δe	KJ/Kg	254.307
E1	KW	3,250.788
E2	KW	9,467.373
Eficiencia Exergetica	%	286.57

REGRESAR

Figura 4.6 Hoja de calculo termoeconomico del GV en Excel.

En la hoja 6, se pueden visualizar los datos del calculo exergético del generador de vapor; y finalmente en la hoja 7 se pueden visualizar una hoja con datos auxiliares que se utilizaron en los cálculos termoeconómicos; solo la hoja 1 y 5 son para introducir datos todas las demás están vinculadas para trabajar con estos datos y modificarse de forma automática. Es importante decir que debe estar instalado el complemento TPX para poder utilizar estas hojas de cálculo, así como también la seguridad de macros debe estar en baja.

COMPRESOR CENTRIFUGO		
COSTOS		
Inversión inicial	1.500.000	\$
Operación	500.000.00	\$
Mantenimiento	450.000.00	\$
Horizonte en años	16	años
Inflación	10%	%
Costo de operación y Manten al año		\$1.050.000.00
Costo total en los años estimados		\$9.714.094.07
Z total =	\$1.16	\$/hr
Costo del gas =	\$	\$/MESTU
costo de la comente 1 =		\$/hr
costo de la comente 2 =		\$/hr

Balance Termoeconomico

$$C_2 = C_1 + W + Z_{total}$$

$$\therefore c_2 E_2 = c_1 E_1 + W + Z_{total}$$

$$c_2 E_2 - c_1 E_1 + W = - Z_{total}$$

Figura 4.7 Hoja de calculo termoeconomico del GV en Excel.

4.3 Ecuaciones Programadas en la evaluación del compresor.

Para encontrar las presiones parciales a la salida o a la entrada del compresor por gas encontrado en la mezcla utilizamos la ecuación 4.1.

$$PP = P * \%volumen_del_gas \dots\dots\dots\text{ecuación 4.1}$$

Para encontrar la masa molecular de la mezcla se utiliza la ecuación 4.2

$$Masa_mol_mez = \sum Mmol * \%volumen_del_gas \dots\dots\dots\text{ecuación 4.2}$$

Para encontrar la temperatura crítica de la mezcla se utiliza la ecuación 4.3

$$Temp_critica_mez = \sum t.c * \%volumen_del_gas \dots\dots\dots\text{ecuación 4.3}$$

Para encontrar la presión crítica de la mezcla se utiliza la ecuación 4.4

$$Temp_critica_mez = \sum p.c * \%volumen_del_gas \dots\dots\dots\text{ecuación 4.4}$$

Para encontrar la temperatura reducida de la mezcla se utiliza la ecuación 4.5 en esta se incluye la temperatura de salida o entrada según sea el caso que se calcule.

$$Temp_reducida = temp_mezcla / temp_critica_mezcla \dots\dots\dots\text{ecuación 4.5}$$

Para encontrar la presión reducida de la mezcla se utiliza la ecuación 4.6 en esta se incluye la presión de salida o entrada según sea el caso que se calcule.

$$precion_reducida = p_mezcla / p_critica_mezcla \dots\dots\dots\text{ecuación 4.6}$$

Para calcular el factor acentrico (ω) en la mezcla se utiliza.

$$\omega_de_mezcla = \sum \omega * \%volumen_del_gas \dots\dots\dots\text{ecuación 4.7}$$

Para el calculo de la R de al mezcla se utiliza la R como constante la cual equivale a R=8.314kj/kmol°K.

$$R_{de\ mezcla} = R / Mmol_{de\ mezcla} \dots\dots\dots\text{ecuación 4.8}$$

Para calcular el cp de cada gas.

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 \dots\dots\dots\text{ecuación 4.9}$$

Para calcular el cp de la mezcla.

$$C_{p\ mezcla} = \sum cp_{gas} * \%volumen_{gas} \dots\dots\dots\text{ecuación 4.10}$$

Para calcular el Cv de la mezcla

$$Cv_{de\ mezcla} = C_{p\ mezcla} - R_{de\ mezcla} \dots\dots\dots\text{ecuación 4.11}$$

Para calcular Z utilizando el software TPX se utiliza la función zlk y se le proporcionan los valores de la temperatura reducida, presión reducida y el factor acentrico claro todos estos valores deben de ser de la mezcla.

$$Z = zlk(t.r, p.r, \omega) \dots\dots\dots\text{ecuación 4.12}$$

Para el cálculo de la densidad ρ la ecuación 4.13.

$$\rho = peso_{mol} * \left(\frac{1}{Z * \left(\frac{R}{Mmol} \right) * t} \right) \dots\dots\dots\text{ecuación 4.13}$$

Para el cálculo del volumen especifico la siguiente:

$$v = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots\text{ecuación 4.14}$$

Para calcular ΔHD utilizando el software TPX se utiliza la función hlk y se le proporcionan los valores de la temperatura reducida, presión reducida y el factor acentrico claro todos estos valores deben de ser de la mezcla.

$$\Delta HD = zlk(t.r, p.r, \omega) \dots\dots\dots \text{ecuación 4.15}$$

Para el cálculo de ΔHD total utilizaremos la siguiente ecuación.

$$\Delta H_{total} = \Delta H_1 + ((C_{p_salida} * t_{salida}) - (C_{p_entrada} * t_{entrada})) - \Delta H_2 \dots\dots\dots \text{ecuación 4.16}$$

Para calcular ΔSD utilizando el software TPX se utiliza la función slk y se le proporcionan los valores de la temperatura reducida, presión reducida y el factor acentrico claro todos estos valores deben de ser de la mezcla.

$$\Delta SD = slk(t.r, p.r, \omega) \dots\dots\dots \text{ecuación 4.17}$$

Para el cálculo de ΔS ideal utilizaremos la siguiente ecuación.

$$\Delta S_{ideal} = \left(\frac{C_{v_entrada} + C_{v_salida}}{Z} \right) * \ln \left(\frac{t_{salida}}{t_{entrada}} \right) + \left(R * \ln \left(\frac{v_{salida}}{v_{entrada}} \right) \right) \dots\dots\dots \text{ecuación 4.18}$$

Para el cálculo de ΔS total utilizaremos la siguiente ecuación.

$$\Delta S_{total} = \Delta SD_1 + \Delta S_{ideal} + \Delta SD_2 \dots\dots\dots \text{ecuación 4.19}$$

Para el cálculo de la temperatura ideal.

$$T_{ideal} = t_1 * \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \dots\dots\dots \text{ecuación 4.20}$$

Para el cálculo del coeficiente de expansión real tenemos la siguiente ecuación.

$$n = \frac{\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)}{\ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)} \dots\dots\dots \text{ecuación 4.21}$$

Para el cálculo de la k es una simple ecuación.

$$k = \frac{c_p}{c_v} \dots\dots\dots \text{ecuación 4.22}$$

Para el cálculo de la potencia real eléctrica en kwatts se calcula con las temperaturas real y la de entrada.

$$w_{\text{elect_real}} = \dot{m} (H_2^{\text{real}} - H_1) \dots\dots\dots \text{ecuación 4.23}$$

Para el cálculo de las entropías se utilizan estas ecuaciones.

$$\begin{aligned} E_1 &= (H_1 - H_0) - T_0 (S_1 - S_0) \\ E_2 &= (H_2 - H_0) - T_0 (S_2 - S_0) \end{aligned} \dots\dots\dots \text{ecuación 4.24}$$

Estas ecuaciones se encuentran programadas en el software de evaluación de los compresores.

CAPÍTULO V

CAPÍTULO V. IMPLEMENTACION DEL SIMULADOR DE COMPRESORES CENTRÍFUGOS.

5.1 Diseño de investigación.

El tipo de estudio es de tipo exploratorio, ya que la investigación se caracteriza por ser un conocimiento poco explorado o poco conocido, difundir el uso de tutoriales y hojas de cálculo para realizar cálculos termotécnicos y termoeconómicos como herramienta de enseñanza es uno de los objetivos de esta investigación. El diseño de investigación es experimental, al ser desarrollado el tutorial y las hojas de cálculo y de tipo transaccional ya que la implementación se realizara sobre una muestra selectiva. El desarrollo se de estos temas se apoyan de la bibliografía de Ramírez Mesa Roberto en el titulo métodos de investigación en la energética.

5.2 Hipótesis y variables.

Hipótesis de tipo descriptiva siguiente: El nivel de aceptación del tutorial de generadores de vapor, para una muestra selectiva de alumnos de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Minatitlán, es de un 90%. La variable nivel de aceptación será medida a través de encuestas realizadas a una muestra selectiva de la población; que para este caso son los alumnos de ingeniería electromecánica como usuarios y como expertos los docentes de las materias afines.

5.3 Selección de la muestra.

La población es finita, siendo definida en dos clases expertos y usuarios; los del primer tipo corresponde a los posibles usuarios del tutorial que tienen la característica de ser docentes de las área de termodinámica, transferencias de calor de la carreras de Ingeniería Electromecánica; el segundo tipo corresponde a los alumnos, a los que esta dirigido, que pueden usar el tutorial.

El tipo de muestreo utilizado será sin reemplazo, dado que se puede elegir solo una vez cada miembro de la población.

5.3.1 Muestra de expertos.

La población de expertos tiene un alcance de 3 personas de la carrera de Ingeniería Electromecánica: Dr. Roberto Ramírez Mesa, MC. Lázaro Valentín García Aguilar y del departamento de Ingeniería Química el Ing. Guillermo Celebro Nieves; por lo cual el muestreo será además de sin reemplazo, de tipo aleatorio.

5.3.2 Muestra de usuarios.

Los usuarios potenciales son alumnos de la carrera de Ingeniería Electromecánica que cursan las materias de Transferencias de calor y termodinámica, que para el semestre de Enero-Junio 2007; son en total una población de 100 alumnos inscritos. El intervalo de confianza utilizado para estos casos será de 95%, por lo cual la muestra mínima de la población que será observada es de 79.5; de acuerdo a los datos calculados por el Software STAT.

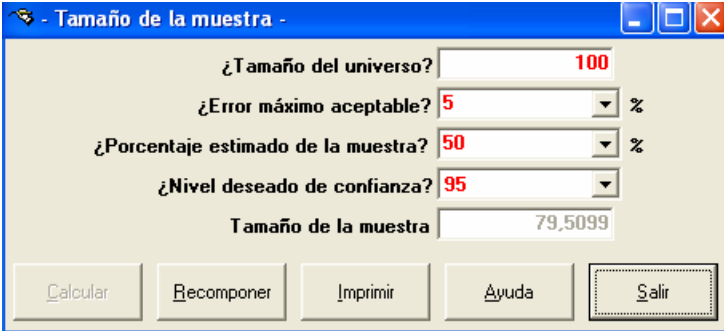


Figura 5.1. Tamaño de la muestra calculado con STAT.

5.4 Instrumento de medición.

El instrumento de medición que se aplicara será una encuesta, realizada a traves de un cuestionario. El cuestionario será diseñado para ser aplicado en presencia del entrevistador y constara de preguntas de opción múltiple y una pregunta abierta, esto con la finalidad de recopilar los comentarios y sugerencias.

5.5 Cuestionario para expertos

El diseño del cuestionario será de preguntas con opción múltiple de respuesta. Para el desarrollo de estos cuestionarios y aplicación a si como graficas se apoyo en el libro probabilidad y estadísticas para ingenieros de Walpole y Myers.

5.6 Recolección de datos.

Los datos de las respuestas de los usuarios del tutorial serán recolectados en el formato de la tabla 4.1, la cual almacena el número de respuesta de los usuarios a cada una de las preguntas.

1.- ¿Considera útil el simulador?

2.- ¿El tutorial ayuda en su formación académica?

	Pregunta 1		Pregunta 2.	
	Si	No	Si	No
1	1		1	
2	1		1	
3	1		1	
4	1		1	
5	1		1	
6	1		1	
7	1		1	
8	1		1	
9	1		1	
10	1		1	
11	1		1	
12	1		1	
13	1		1	
14	1		1	
15	1		1	
16	1		1	
17	1		1	
18	1		1	
19	1		1	
20	1		1	
21	1		1	
22	1		1	
23	1		1	
24	1		1	
25	1		1	
26	1		1	
27	1		1	
28	1		1	
29	1		1	
30	1		1	
31	1		1	
32	1		1	
33	1		1	
34	1		1	
35	1		1	

36	1		1	
37	1		1	
38	1		1	
39	1		1	
40	1		1	
41	1		1	
42	1		1	
43	1		1	
44	1		1	
45	1		1	
46	1		1	
47	1		1	
48	1		1	
49	1		1	
50	1		1	
51	1		1	
52	1		1	
53	1		1	
54	1		1	
55	1		1	
56	1		1	
57	1		1	
58	1		1	
59	1		1	
60	1		1	
61	1		1	
62	1		1	
63	1		1	
64	1		1	
65	1		1	
66	1		1	
67	1		1	
68	1		1	
69	1		1	
70	1		1	
71	1		1	
72	1		1	
73	1		1	
74	1		1	
75	1		1	
76	1		1	
77	1		1	
78	1		1	
79	1		1	
80	1		1	
81	1		1	
82	1		1	
83	1		1	
84	1		1	

85	1		1	
86	1		1	
87	1		1	
88	1		1	
89	1		1	
90	1		1	
91	1		1	
92	1		1	
93	1		1	
94	1		1	
95	1		1	

Tabla 4.1 Resumen de respuestas por observación de encuesta a usuarios, pregunta 1 y 2.

3.- ¿Considera usted que debe usarse como apoyo didáctico este simulador?

4.- ¿Determine el nivel de dificultad para usar el simulador?

	Pregunta 3.			Pregunta 3.		
	Mucho	Poco	Nada	Muy fácil	Poco fácil	Difícil
1	1			1		
2	1			1		
3	1			1		
4	1			1		
5	1			1		
6	1			1		
7		1		1		
8		1		1		
9		1		1		
10			1	1		
11			1	1		
12	1			1		
13	1			1		
14	1			1		
15	1			1		
16	1				1	
17	1				1	
18	1				1	
19	1				1	
20	1					1
21	1					1
22	1					1
23	1			1		
24	1			1		
25	1			1		
26	1			1		
27	1				1	
28	1			1		
29	1			1		

30	1			1		
31	1			1		
32	1			1		
33	1			1		
34	1			1		
35	1			1		
36	1			1		
37	1			1		
38	1			1		
39	1			1		
40	1			1		
41	1			1		
42	1			1		
43	1			1		
44	1			1		
45	1			1		
46	1			1		
47	1			1		
48	1			1		
49	1			1		
50	1			1		
51	1			1		
52	1			1		
53	1			1		
54	1			1		
55	1			1		
56	1			1		
57	1			1		
58	1			1		
59	1			1		
60	1			1		
61	1			1		
62	1			1		
63	1			1		
64	1			1		
65	1			1		
66	1			1		
67	1			1		
68	1			1		
69	1			1		
70	1			1		
71	1			1		
72	1			1		
73	1			1		
74	1			1		
75	1			1		
76	1			1		
77	1			1		
78	1			1		

79	1			1		
80	1			1		
81	1			1		
82	1			1		
83	1			1		
84	1			1		
85	1			1		
86	1			1		
87	1			1		
88	1			1		
89	1			1		
90	1			1		
91	1			1		
92	1			1		
93	1			1		
94	1			1		
95	1			1		

Tabla 4.2 Resumen de respuestas por observación de encuesta a usuarios, pregunta 3 y 4.

CAPITULO VI

CAPITULO VI. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DEL SIMULADOR.

6.1 Presentación de resultados

En este capitulo se presenta las graficas de los resultados de implementación del simulador.

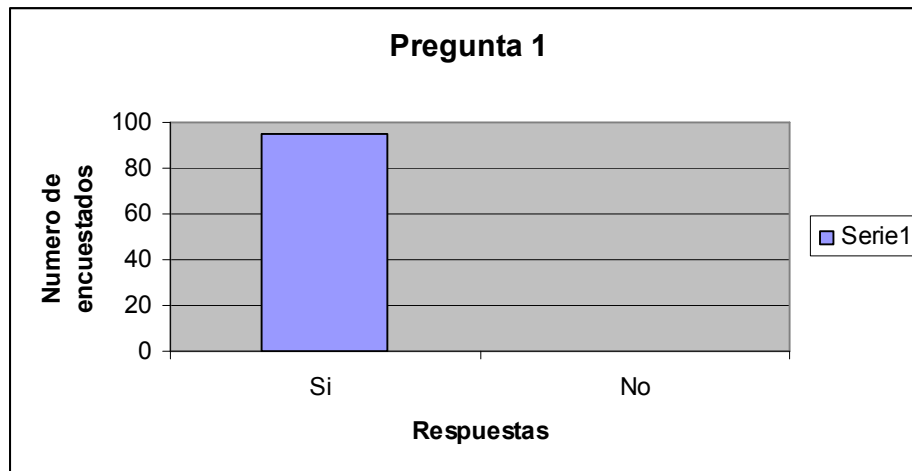


Figura 6.1 Grafico de respuestas de la pregunta 1

El 100% de los usuarios considera que el simulador térmico ayuda en su formación académica.

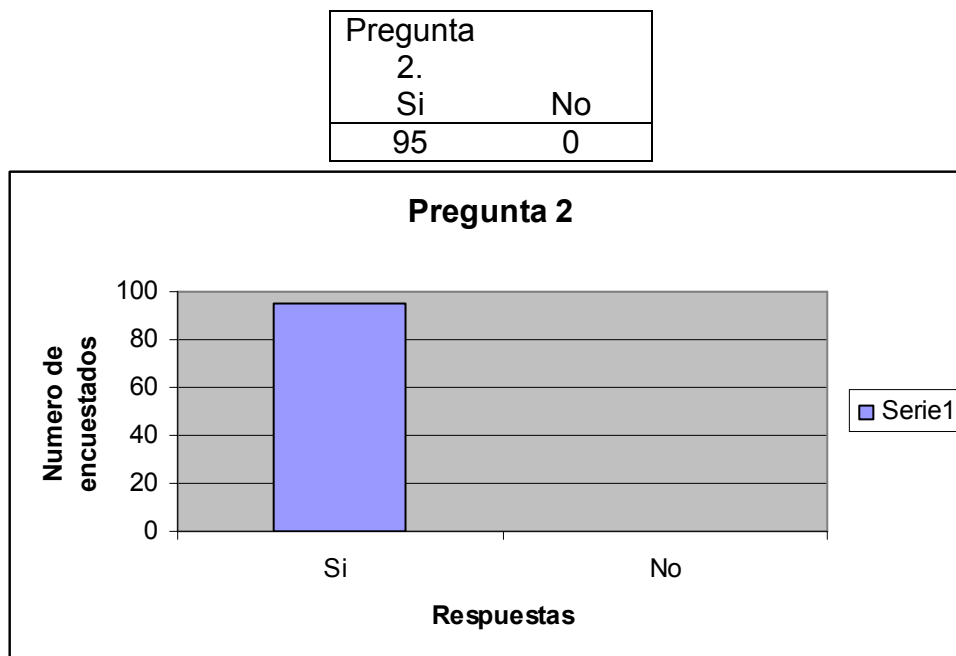


Figura 6.2 Grafico de respuestas de la pregunta 2.

El 90% de los usuarios considera que debe usarse como apoyo didáctico, el 3% considera poco que debe usarse como apoyo didáctico este simulador térmico y el 2% Considera que no debe usarse como apoyo didáctico este simulador térmico.

Pregunta 3.		
Mucho	Poco	Nada
90	3	2

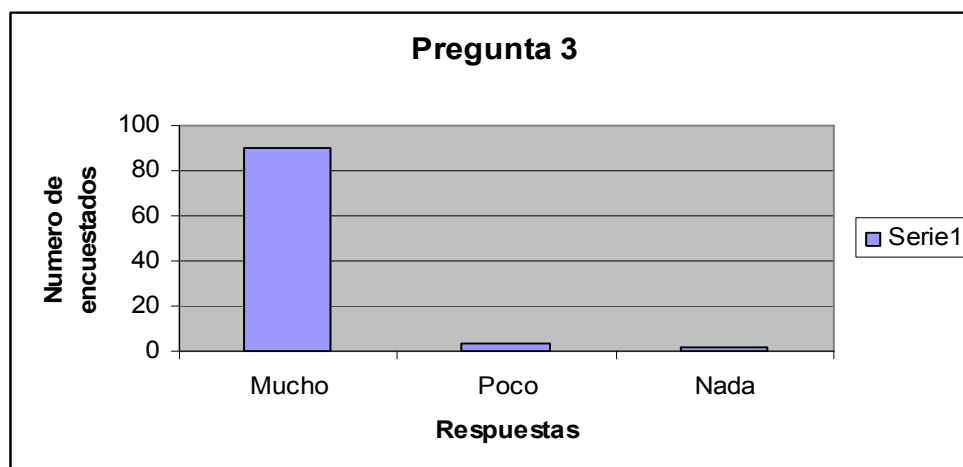


Figura 6.3 Grafico de respuestas de la pregunta 3.

El 87% de los usuarios considera que el nivel de dificultad para usar el simulador térmico es muy fácil, el 5% de los usuarios considera que el nivel de dificultad para usar el simulador térmico es poco fácil, el 3% de los usuarios considera que el nivel de dificultad para usar el simulador térmico es difícil.

Pregunta 4.		
Muy fácil	Poco fácil	Difícil
87	5	3

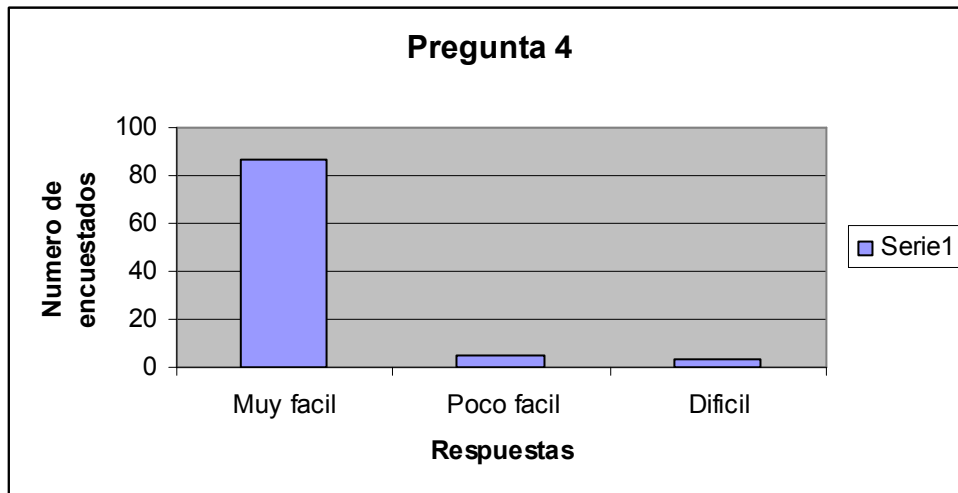


Figura 5.4 Grafico de respuestas de la pregunta 4.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.

Este trabajo deja como legado la difusión de material didáctico como herramienta para la enseñanza de la asignatura de termodinámica y maquinas térmicas así como el cálculo de pruebas energéticas y exergéticas en compresores.

Además presenta el uso de un software como Excel por medio del cual se pueden realizar cálculos interactivos los cuales ya han sido mencionados.

Las hojas de cálculo térmico y exergético así como de caracterización de gases pueden ser utilizadas para caracterización de otros equipos termomecánicos como calderas, bombas, etc. que manejen mezcla de gases.

Los objetivos planteados al inicio de la tesis se desarrollo el material de la asignatura de termodinámica y maquinas térmicas de acuerdo a una consulta a expertos en el Instituto Tecnológico de Minatitlán.

Se Realizo el tutorial en interfases de usuario en el lenguaje de programación visual Basic con Excel.

Se realizo una interfaz grafica para la realización de cálculos térmicos y exergéticos en el programa Excel.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía.

1. laborar y asesorar una investigación de tesis. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. Año 1998. 1era. Edición. 300 paginas.
2. NOM-002-ENER-1995, Eficiencia térmica de calderas paquete, especificaciones y métodos de prueba.
3. NRF-089-PEMEX-2004. Calentadores a fuego directo para plantas de proceso. PEMEX.
4. Norma Oficial Mexicana NOM-012-ener-1996, eficiencia térmica de Calderas de baja capacidad (7,5 a 100 kw).-especificaciones y método de prueba.
5. Ochoa Hernández Eduardo. Nicolás Zamudio Hernández, Gabino Estevez Delgado [http...dieumsh.qfb.umich.mx](http://dieumsh.qfb.umich.mx) Modelo de aprendizaje de cobertura masiva, bajo un esquema democrático. “gestión intelectual del conocimiento”
6. Ramírez Mesa Roberto. Monografía. Métodos de investigación En la energética.
7. Ramírez Mesa Roberto. Monografía. Pruebas termotecnicas en calderas y hornos.
8. Ramón Ferreiro Gravié. Universidad La Salle. www.comunidad.ulsal.edu.mx. Tutoriales software educativo.
9. Reglamento de Inspección de calderas de Vapor, www.congresotam.gob.mx.
10. Richard W. Greene. Compresores selección, uso y mantenimiento. McGRAW-HILL.
11. Rodríguez Miguel. El proceso de aprendizaje y las teorías educativas. Artacho. <http://sensei.ieec.uned.es>
12. Roxana E. Pintos, Sonia I. Mariño, Maria V. Godoy. [http....colos.fcu.um](http://colos.fcu.um). La realidad virtual como herramienta en la enseñanza-aprendizaje de anatomía humana para el nivel EGB II
13. Rubio Ángel. Generadores de vapor. Universidad Central de las villas. Cuba 1995. 300 paginas.

14. Ramírez c. Ángel. Implementación y Debugging, ciclo de vida capitulo 1
15. Tanquero García Nelson. Síntesis de análisis y proyectos de generadores de vapor. Politécnico de la Habana, Cuba. Recopilación de Textos. CUJAE 1990.
16. Virgil Moring Faires. Termodinámica. Editorial Hispano- Americana. 5ª. Edición. Año1970. 890 paginas.
17. V. A. Kirillin, V.A, Sichen y A.E. Sheidhin. Termodinámica Técnica. Editorial Mir, Moscu, 1981, 599 paginas.
18. Walpole Ronald E., Myers Raymond H., Myers L. Sharon. Probabilidad y Estadística para ingenieros. Sexta edicion. Editorial Pearson. 752 paginas.
19. Web Taller. www.hostalia.com. Manual de Macromedia Flash Player.
20. www.itmina.edu.mx
21. www.hysys.de/

Software utilizado.

Software generador de películas Flash de Macromedia Flash Player.

Hojas de cálculo de Excel de Microsoft Office.

Procesador de palabras Word de Microsoft Office.

Paquete estadístico Stat win.

Paquete estadístico Curve Expert.

Complemento de Excel, TPX.

ANEXOS