

13
2 of



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ZARAGOZA

DESARROLLO DE MODELOS PARA ESTIMACION
DE COSTOS DE EQUIPO DE LA INDUSTRIA
QUIMICA NACIONAL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
ROMUALDO ENRIQUE ZAMORA PEREZ





UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DESARROLLO DE MODELOS PARA ESTIMACION DE COSTOS DE EQUIPO DE LA
INDUSTRIA QUIMICA NACIONAL.

I N D I C E.

Página

LISTA DE TABLAS.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	IV
RESUMEN.....	V
OBJETIVOS.....	VI
I INTRODUCCION.....	1
II GENERALIDADES.....	2
II.1 ETAPAS DE UN PROYECTO Y EL PROCESO DE INVERSION.....	2
II.2 INVERSION FIJA.....	4
II.3 ESTIMADO DE INVERSION FIJA.....	7
III MODELOS PARA ESTIMAR COSTOS DE EQUIPO DE PLANTAS PROCESO	7
III.1 REACTORES.....	9
III.1.1 TIPOS DE REACTORES.....	9
III.1.2 CASO DE ESTUDIO. (REACTORES VIDRIADOS).....	11
III.1.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	11
III.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	13
III.2.1 TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	14
III.2.2 CASO DE ESTUDIO. (TUBOS Y CORAZA).....	15
III.2.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	16
III.3 AGITADORES.....	19
III.3.1 TIPOS DE AGITADORES.....	19
III.3.2 CASO DE ESTUDIO. (TIPO PROPELA).....	19
III.3.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	20
III.4 TANQUES.....	25
III.4.1 TIPOS DE TANQUES.....	25
III.4.2 CASO DE ESTUDIO. (CILINDRICOS).....	26
III.4.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	27
III.5 COMPRESORES.....	33
III.5.1 TIPOS DE COMPRESORES.....	33
III.5.2 CASO DE ESTUDIO. (RECIPROCANTES).....	33
III.5.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	35

III.6 BOMBAS.....	40
III.6.1 TIPOS DE BOMBAS.....	40
III.6.2 CASO DE ESTUDIO. (CENTRIFUGAS).....	41
III.6.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	42
IV MODELOS PARA ESTIMAR COSTOS DE EQUIPOS DE SERVICIOS.....	50
AUXILIARES EN PLANTAS DE PROCESO.....	
IV.1 CALDERAS.....	50
IV.1.1 TIPOS DE CALDERAS.....	50
IV.1.2 CASO DE ESTUDIO. (TIPO CB).....	51
IV.1.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	52
IV.2 TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	58
IV.2.1 TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	68
IV.2.2 CASO DE ESTUDIO. (TIRO INDUCIDO).....	69
IV.2.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	70
IV.3 EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	85
IV.3.1 TIPOS DE EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	85
IV.3.2 CASO DE ESTUDIO. (SUAVISADORES DE AGUA).....	85
IV.3.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	86
IV.4 SUBESTACIONES ELECTRICAS.....	88
IV.4.1 TIPOS DE SUBESTACIONES ELECTRICAS.....	88
IV.4.2 CASO DE ESTUDIO. (TIPO COMPACTA).....	88
IV.4.3 DESARROLLO DEL MODELO.....	92
V ANALISIS DE RESULTADOS.....	102
VI CONCLUSIONES.....	103
VII BIBLIOGRAFIA.....	104
VIII APENDICE.....	107

LISTA DE TABLAS

II.1	EL PROCESO DE INVERSION Y SU RELACION CON EL CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS.....	4
III.1	DATOS Y RESULTADOS DE REACTORES VIDRIADOS.....	13
III.2	VARIABLES DE DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	17
III.3	DATOS Y RESULTADOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	19
III.4	VARIABLES CONSIDERADAS EN EL MODELO DE AGITADORES.....	22
III.5	DATOS Y RESULTADOS DE AGITADORES EN ACERO AL CARBON.....	22
III.6	DATOS Y RESULTADOS DE AGITADORES EN ACERO INOXIDABLE TIPO 304.....	25
III.7	VARIABLES CONSIDERADAS EN EL MODELO DE TANQUES.....	28
III.8	PESOS DE BASES METALICAS PARA TANQUES HORIZONTALES.....	31
III.9	PESOS DE BASES METALICAS PARA TANQUES VERTICALES.....	31
III.10	FACTORES DE INGENIERIA PARA TANQUES DE ACUERDO AL COSTO DE MATERIALES.....	32
III.11	DATOS Y RESULTADOS DE TANQUES EN ACERO AL CARBON.....	32
III.12	DATOS Y RESULTADOS DE TANQUES EN ACERO INOXIDABLE.....	33
III.13	VARIABLES DE DISEÑO DE COMPRESORES RECIPROCANTES.....	35
III.14	MODELOS DE COMPRESOR Y RANGOS DE POTENCIA.....	35
III.15	DATOS Y RESULTADOS DE COMPRESORES PARA AIRE.....	36
III.16	DATOS Y RESULTADOS DE COMPRESORES PARA REFRIGERACION.....	38
III.17	RESULTADOS DEL ANALISIS ESTADISTICO PARA MOTORES.....	39
III.18	PARAMETROS ESTADISTICOS DE LOS MODELOS PARA MOTORES.....	40
III.19	VARIABLES CONSIDERADS EN EL MODELO DE BOMBAS.....	43
III.20	DATOS Y RESULTADOS DE BOMBAS EN HIERRO.....	44
III.21	DATOS Y RESULTADOS DE BOMBAS EN ACERO AL CARBON.....	46
III.22	DATOS Y RESULTADOS DE BOMBAS EN ACERO INOXIDABLE.....	48

IV.1	VARIABLES DE DISEÑO DE CALDERAS.....	52
IV.2	DATOS Y RESULTADOS DE CALDERAS PARA DIESEL.....	54
IV.3	DATOS Y RESULTADOS DE CALDERAS PARA DIESEL-GAS.....	56
IV.4	DATOS Y RESULTADOS DE CALDERAS PARA PETROLEO.....	58
	PESADO-GAS	
IV.5	DATOS Y RESULTADOS DE CALDERAS PARA PETROLEO.....	60
	PESADO	
IV.6	DATOS Y RESULTADOS DE CALDERAS PARA GAS.....	63
IV.7	AJUSTES DE COSTOS DE CALDERAS A DIFERENTES PRESIONES..	65
IV.8	AJUSTES DE COSTOS PARA CALDERAS DE AGUA CALIENTE.....	65
IV.9	COSTOS DE COLUMNAS PARA CALDERAS.....	66
IV.10	COSTOS DE CHIMENEAS PARA CALDERAS.....	68
IV.11	DATOS Y RESULTADOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	73
IV.12	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 17 °C.....	74
IV.13	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 18 °C.....	75
IV.14	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 19 °C.....	76
IV.15	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 20 °C.....	77
IV.16	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 21 °C.....	78
IV.17	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 22 °C.....	79
IV.18	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 23 °C.....	80
IV.19	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 24 °C.....	81
IV.20	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 25 °C.....	82
IV.21	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 26 °C.....	83
IV.22	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 27 °C.....	84
IV.23	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO = 28 °C.....	85
IV.24	VARIABLES CONSIDERADAS EN EL MODELO DE SUAVISADORES... DE AGUA	87
IV.25	DATOS Y RESULTADOS DE SUAVISADORES DE AGUA.....	87

IV.26	COSTO POR SECCIONES DE SUBESTACIONES COMPACTAS A 13.8 KV SERVICIO INTERIOR	94
IV.27	COSTO POR SECCIONES DE SUBESTACIONES COMPACTAS..... A 13.8 KV SERVICIO EXTERIOR	94
IV.28	COSTO POR SECCIONES DE SUBESTACIONES COMPACTAS..... A 23 KV SERVICIO INTERIOR	94
IV.29	COSTO POR SECCIONES DE SUBESTACIONES COMPACTAS..... A 23 KV SERVICIO EXTERIOR	94
IV.30	DATOS Y RESULTADOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA.....	95
IV.31	DATOS Y RESULTADOS DE TRANSFORMADORES DE..... DISTRIBUCION, EN TRES FASES	96
IV.32	DATOS Y RESULTADOS DE TRANSFORMADORES DE..... DISTRIBUCION, EN UNA FASE	97
IV.33	DATOS Y RESULTADOS DE CAPACITORES EN BAJA TENSION.....	99
IV.34	DATOS Y RESULTADOS DE CAPACITARES EN ALTA TENSION.....	100

LISTA DE FIGURAS

III.1	COSTOS DE AGITADORES EN ACERO AL CARBON	24
III.2	COSTOS DE AGITADORES EN ACERO INOXIDABLE	26
IV.1	COSTOS DE CALDERAS QUE UTILIZAN DIESEL.....	55
IV.2	COSTOS DE CALDERAS QUE UTILIZAN DIESEL-GAS.....	57
IV.3	COSTOS DE CALDERAS QUE UTILIZAN PETROLEO PESADO-GAS....	59
IV.4	COSTOS DE CALDERAS QUE UTILIZAN PETROLEO PESADO.....	61
IV.5	COSTOS DE CALDERAS QUE UTILIZAN GAS.....	64
IV.6	COSTO DE DESAREADORES PARA CALDERAS.....	67

RESUMEN.

El presente trabajo tiene como objetivo primordial desarrollar modelos para estimar costos de equipo de la industria química nacional, que es uno de los problemas a que se enfrenta el ingeniero de costos.

Para el cumplimiento del objetivo, el trabajo en primera instancia situa en un marco geográfico dicho problema. El cual se desglosa de lo general a lo particular hasta situarse en el problema de estimación de costos de equipo.

Los modelos desarrollados en el trabajo se dividen en dos categorías principales: la primera desarrolla modelos para estimar costos de equipos principales de proceso tales como: reactores, agitadores, intercambiadores de calor, tanques compresores y bombas, mientras que la segunda presenta modelos para equipos de servicios auxiliares de plantas de proceso. Los modelos desarrollados en esta sección son: calderas, torres de enfriamiento, equipo de tratamiento de agua y subestaciones eléctricas.

Cada modelo desarrollado presenta una relación causal y estadística entre el costo del equipo y sus principales variables de diseño. Estos modelos se desarrollan con una serie de datos obtenidos mediante cotizaciones, facturas o listas de precios del mercado nacional y que se presentan en el mismo capítulo

Así mismo cada modelo presentado en este trabajo tiene un soporte estadístico que justifica la aprobación de dicho modelo, además se presenta una comparación de los valores arrojados por el modelo contra los valores reales obtenidos mediante cotizaciones, facturas o listas de precios.

Una sección de análisis de resultados y otra de conclusiones, es presentada al final de este trabajo en donde se explican los resultados y se presentan algunas sugerencias sobre el área de estudio.

OBJETIVOS.

El principal problema que enfrenta la ingeniería de costos consiste en estimar el monto total de la inversión fija de plantas de proceso.

Considerando que la maquinaria y equipo representan en la mayoría de los casos alrededor de un ochenta por ciento de la inversión fija, es imprescindible estimar con un mayor grado de exactitud los costos pertenecientes a estos.

Para la solución del problema descrito anteriormente se plantean los siguientes objetivos

El objetivo principal, consiste en desarrollar modelos de estimación de costos de equipo principal de plantas de proceso, los cuales serán válidos para un mercado nacional.

Este objetivo se desglosa en seis objetivos secundarios con el propósito de identificar las etapas importantes en el desarrollo del proyecto.

- 1.- Seleccionar el equipo principal de una planta química.
- 2.- Clasificar dichos equipos en sus tipos principales con el propósito de reunir sus características comunes.
- 3.- Identificar las variables de diseño más importantes que afecten de manera significativa el costo del equipo.
- 4.- Analizar el comportamiento que tienen los costos con respecto a sus variables.
- 5.- Recopilar información de costos de equipo mediante catálogos, cotizaciones, lista de precios y facturas.
- 6.- Desarrollar un modelo matemático que correlacione el costo del equipo con sus variables principales de diseño.

INTRODUCCION

El estimar costos de equipos, para determinar el monto de la inversión fija de una planta de proceso químico, es uno de los problemas a los que se enfrenta el ingeniero de costos, sin embargo este no es exclusivo de ellos, pues los valuadores realizan la actividad de estimar costos para determinar el monto total de una planta de proceso ya instalada, para fines de reexpresión de estados financieros, realización, liquidación ó seguros.

Con el propósito de solucionar en lo mejor posible dicho problema, en este trabajo se desarrollan una serie de modelos tendientes a estimar el costo de los equipos principales que integran las plantas de proceso químico. Los modelos se basan en las características de los equipos considerados para estimar su costo a la fecha de estudio.

El trabajo se divide en ocho secciones principales:

La primera sección de introducción, presenta una visión global del problema, la solución, los resultados y las conclusiones del mismo.

La segunda sección de generalidades se divide en 3 capítulos en donde se plantea el marco en cual se desarrolla el estudio.

El capítulo primero presenta en forma global las etapas de un proyecto y el proceso de inversión.

El segundo capítulo explica los rubros más importantes que integran la inversión fija.

El tercer capítulo describe los tipos de modelos desarrollados para estimar costos de equipo reportados en diferentes literaturas.

La tercera sección se divide en seis capítulos en los cuales se desarrollan modelos para estimar costos de equipo de proceso de plantas químicas.

En el capítulo primero se desarrolla un modelo para estimar el costo de reactores construidos en acero vidriado y que operan de manera intermitente.

En el capítulo segundo se desarrolla un modelo para estimar el costo de intercambiadores de calor de tubos y coraza con espejos fijos, construidos en: tubos y espejos en acero inoxidable y coraza en acero al carbón.

En el capítulo tercero se desarrollan dos modelos para estimar costos de agitadores en acero al carbón y acero inoxidable. Los agitadores son de tipo propela con motor a prueba de explosión con transmisión por engranes.

En el capítulo cuarto se presenta un modelo para estimación de costos de tanques cilíndricos en acero al carbón y acero inoxidable.

En el capítulo quinto se desarrollan dos modelos para estimar costos de compresores recíprocos, el primero para manejo de aire y el segundo para manejo de refrigerantes.

En el capítulo sexto se desarrollan tres modelos para estimar costos de bombas centrífugas para tres tipos de materiales: hierro, acero al carbón y acero inoxidable.

La cuarta sección trata los equipos de servicios auxiliares que se encuentran comúnmente en una planta de proceso, esta se divide en cuatro capítulos:

En el capítulo primero se desarrollan 5 modelos para estimar costos de calderas para cinco combinaciones de combustibles.

En el capítulo segundo se desarrolla un modelo para estimar el costo de torres de enfriamiento de tiro inducido con material plástico de relleno.

En el capítulo tercero se desarrolla un modelo para estimar el costo de equipo de tratamiento de agua, este modelo es un complemento al capítulo primero de esta sección.

Y por último en el capítulo cuarto se desarrolla un modelo para estimar el costo de subestaciones eléctricas del tipo compacta, para servicio interior ó exterior.

La sección cinco presenta un análisis de los resultados obtenidos y una explicación de la metodología empleada.

La sección seis de conclusiones presenta el marco en el cual se desarrollaron los modelos, las limitaciones y restricciones de los mismos. Además se presenta una perspectiva para el desarrollo de trabajos posteriores en el área.

La sección siete de bibliografía presenta las siguientes características:

-Literatura utilizada para la clasificación de los equipos, así como la selección de las variables principales.

-Literatura necesaria para el análisis y desarrollo de los modelos.

-Catálogos sobre equipos considerados en el estudio.

-Artículos con trabajos sobre el tema que sirven de base, guía y comparación en el presente trabajo.

La sección ocho y última de este estudio comprende el apéndice del trabajo y en el se incluyen los costos, datos y modelos, que por su tamaño no se presentaron en el capítulo correspondiente.

Los modelos presentados en este trabajo se desarrollaron con valores al 31 de diciembre de 1989, a excepción de los compresores de aire y las torres de enfriamiento, los cuales se desarrollaron al 31 de marzo y 31 de mayo de 1990 respectivamente.

II GENERALIDADES.

Un proyecto industrial es el conjunto de elementos técnicos, económicos, financieros, sociales y de organización que permiten visualizar las ventajas y desventajas económicas, de la adquisición, construcción, instalación y operación de una planta.

Las actividades de cualquier proyecto presentan las siguientes características:

SIGUEN OBJETIVOS INMEDIATOS.- Estan orientados hacia la accion.

FINITOS EN EL TIEMPO.- El conjunto de actividades definidas para la obtencion de un propósito, se situan entre un principio y un fin.

SON ESFUERZOS SINGULARES.- En el sentido de que las acciones que lo definen no son ni repetitivas ni homogéneas.

II.1 ETAPAS DE UN PROYECTO Y EL PROCESO DE INVERSION.

Existe una estrecha relacion entre el ciclo de vida de los proyectos y el proceso de inversion. De hecho , el ciclo de los proyectos constituye una desagregación de recursos como se aprecia en la tabla II.1.

Tabla II.1 El proceso de inversion y su relación con el ciclo de vida de los proyectos.

ETAPA	FASES DE DESARROLLO
PREINVERSION	IDENTIFICACION
	FORMULACION Y EVALUACION
DECISION	INGENIERIA DEL PROYECTO
	GESTION DE LOS RECURSOS
INVERSION	EJECUCION Y PUESTA EN MARCHA
RECUPERACION	OPERACION Y DIRECCION

Las distintas fases del ciclo de vida del proyecto, se encuentran vinculadas entre si. Esta interdependencia y concatenación se establece entre las finalidades, contenido y resultado de cada fase.

La identificación tiene por finalidad el detectar necesidades y recursos para buscar su satisfacción y aprovechamiento eficiente, a través de un diagnóstico, un pronóstico y la determinación de una imagen objetiva la cual genera como resultado las estrategias y lineamientos de acción que deben seguirse en el desarrollo de un proyecto.

La formulación y evaluación tienen por objetivo generar y seleccionar opciones y determinar la más eficiente para satisfacer una necesidad específica o aprovechar un recurso, mediante el análisis y evaluación de diversas opciones, de tal forma que sea factible determinar la optima y su grado de viabilidad técnica, económica, financiera y social.

Dentro de esta etapa los principales rubros a desarrollar son los siguientes:

- 1.- Mercado de abastecimiento.- Es el que suministra los recursos materiales y humanos para la producción de un bien.
- 2.- Mercado de consumo.- Es el que capta los productos y subproductos generados por el proyecto.
- 3.- Tamaño de la planta industrial.- Es función de la demanda insatisfecha del producto, la segmentación del mercado, la tecnología disponible para la producción, etc.
- 4.- Localización de la planta.- Es el lugar donde se instalará la planta y es uno de los factores económicos importantes en la viabilidad del proyecto, es función del mercado de consumo y mercado de abastecimiento, de las políticas gubernamentales, etc.
- 5.- Ingeniería del proyecto - Desarrolla todos los elementos técnicos básicos que involucra el proceso de producción.
- 6.- Inversión fija y capital de operación.- Esta sección determina el monto total de capital requerido para el estudio, instalación y operación de una planta.
- 7.- Costos y presupuestos de operación.- Tienen la función de prever los costos inherentes al estudio, instalación y operación de la planta en el tiempo, es decir plantea un programa de actividades y desembolsos.
- 8.- Organización empresarial.- Diseña una forma de organización de la empresa para obtener un mejor flujo de información y por ende una mejor administración.

9.- Financiamiento del proyecto.- De acuerdo al programa de desembolsos y la disponibilidad de recursos se estudia la posibilidad de solicitar créditos de financiamiento para el estudio o instalación de la planta.

10.-Evaluación económica y social.- Tiene la función de evaluar las repercusiones económicas y sociales del proyecto en la comunidad circundante.

En la ingeniería de proyecto se elabora el diseño de construcción de la planta industrial y sus servicios auxiliares. Esta fase se caracteriza por ser la más interdisciplinaria de todas las etapas del proyecto, en ella intervienen especialidades tales como civiles, mecánicos, de proceso, electricos, instrumentistas, etc.

En esta fase se generan documentos constructivos, tales como planos y especificaciones de equipo y materiales que serán utilizados en la planta.

La fase denominada gestión de recursos, tiene como finalidad definir el tipo de agrupación social y su formalización, así como obtener los recursos necesarios a través de negociaciones jurídicas financieras y laborales, integrando la capacidad jurídica y los recursos requeridos para la inversión.

Las fases subsecuentes son las de ejecución y puesta en marcha. La ejecución tiene por finalidad, disponer de los recursos humanos, físicos y financieros a través de programas de construcción, instalación y montaje, y de reclutamiento, selección y formación de recursos humanos, lo cual permite contar con la infraestructura física, laboral y directiva. Por su parte, la puesta en marcha comprende los ajustes de la maquinaria y equipo y demás pruebas preoperativas hasta que el proyecto quede listo para iniciar su vida útil.

Las dos últimas fases del desarrollo están comprendidas por el binomio Operación-Dirección, cuyo objetivo es el de generar eficientemente beneficios económicos y sociales, a través del proceso administrativo de planeación, organización, dirección, evaluación y control, que debe generar como resultado la producción de satisfactores eficaces y la generación de excedentes financieros, como fueron previstos en las etapas previas.

Dentro de la fase de formulación y evaluación, la inversión fija es uno de los rubros más importantes que deben considerarse.

II.2 INVERSION FIJA.

La inversión fija comprende el conjunto de bienes que no son motivo de transacciones corrientes por parte de la empresa.

Los rubros más importantes que integran la inversión fija se clasifican en dos grupos; el primero está formado por todos aquellos bienes tangibles adquiridos inicialmente y durante la vida útil del proyecto, estos bienes tienen la función de colaborar en la producción, comercialización y distribución del producto, por consiguiente en el costo se debe considerar al activo como una unidad productiva y no como una suma de precios del mercado. El segundo grupo comprende los bienes intangibles que generalmente son gastos preoperativos de la planta, este grupo en ocasiones es denominado como inversión diferida.

Los rubros principales de la inversión fija en el grupo de tangibles son los siguientes.

Terreno.

Para determinar el costo total del terreno, se deben sumar los costos de la superficie, los gastos correspondientes a impuestos, escrituración y en caso de que el terreno requiera de algún acondicionamiento para su utilización tal como limpieza, construcción de cercas, terraplenes etc., también se incluyan en el costo total.

Obra civil.

Una vez definidas en el estudio técnico, las edificaciones requeridas para el proyecto (proceso, servicios auxiliares, control de calidad, almacén, oficinas, etc.) se evalúa el presupuesto para solventar los gastos correspondientes. El presupuesto de obra civil se estima a partir del tipo de construcción, los metros totales por tipo de obra civil evaluados al costo de mercado.

Maquinaria, equipo de proceso y equipo auxiliar.

Con la definición del proceso productivo contemplado en el estudio técnico, se obtienen las características de la maquinaria, equipo principal y de servicios auxiliares, mismas que son utilizadas para solicitar cotización a diferentes proveedores para obtener la oferta óptima.

Es recomendable que la selección de la cotización más viable se obtenga bajo la condición libre abordo planta comprador, con la finalidad de que se incluyan en el presupuesto los gastos inherentes a la transportación, impuestos aduanales, almacenamiento, carga y descarga.

Mobiliario y equipo de oficina para el proyecto.

Con el organigrama y el manual de operación propuesto para la empresa se identifican los requerimientos de mobiliario y equipo de oficina indispensables para desarrollar las funciones administrativas del proyecto, los principales componentes de este presupuesto son escritorios, archiveros, calculadoras, computadoras, etc.

Equipo de transporte.

De acuerdo a las características del proyecto y al organigrama general de la empresa se determinan los requerimientos de estos.

Instalaciones electricas.

El presupuesto referente a instalaciones electricas se integra mediante la descripción de cada artículo (transformadores, tableros, cables de diferentes calibres, fusibles etc.) considerando su respectivo costo y el número de unidades, así como los gastos de instalación.

Instalaciones hidrosanitarias.

El presupuesto referente a instalaciones hidrosanitarias, se integra mediante la descripción de cada artículo (tubería de diferentes diámetros, accesorios sanitarios, atarjeas, muebles sanitarios etc.) mencionando su respectivo costo y el número de unidades, incluyendo el gastos de instalación y fletes.

El segundo grupo de la inversión fija (inversión diferida), esta integrada por aquellos bienes intangibles necesarios para llevar a cabo la construcción de la planta. Estos gastos comprenden desde la concepción del proyecto hasta la puesta en marcha del mismo, las partes principales que integran esta sección son las siguientes.

Estudios

El presupuesto referente a estudios abarca los costos de los estudios de factibilidad e ingeniería.

Constitución de la sociedad

El presupuesto referente a la constitución de la sociedad se integra, mediante la estimación de costos en que se incurre para formar la nueva empresa los cuales son: gastos notariales, pago de impuestos, gastos de emisión de acciones, etc.

Capacitación del personal.

Dependiendo del grado de complejidad del proceso productivo se requerirá de erogar una partida de inversión para la capacitación de personal. La estimación de este presupuesto parte de las bases establecidas por el proveedor de equipo y/o tecnólogo que comunmente ofrece el servicio integrado.

Pruebas de arranque y puesta en marcha.

La estimación de los gastos de la puesta en marcha se refieren a los desembolsos que se requieren para cubrir los gastos fijos y variables durante las pruebas iniciales de arranque y hasta la puesta en marcha normal de la planta.

Gastos financieros preoperativos.

Cuando se toma la decisión de solicitar recursos financieros para realizar los estudios de factibilidad e ingeniería es necesario estimar los egresos correspondientes por el crédito solicitado, incluyendo tanto intereses como la amortización del principal.

11.3 ESTIMADO DE INVERSION FIJA.

Estimar el costo de la inversión fija, es una de las finalidades dentro de la etapa de preinversión de proyectos, así como para las empresas ya en operación.

Los métodos de estimación de la inversión fija pueden clasificarse en tres grupos principales.

Los métodos simples o preliminares son los que consideran el costo como una función directa de la capacidad de la planta, en ocasiones utilizan factores de capacidad e índices.

Los métodos intermedios de estimación de costos se basan en el costo del equipo principal de las plantas de proceso y los demás servicios se estiman por medio de factores o porcentajes.

Los métodos detallados se basan en un inventario total de la planta y se cotizan de manera directa con un mínimo de estimaciones.

En todos los métodos se utilizan índices para actualizar. Estos deben ser seleccionados dependiendo de lo que se quiere actualizar y la procedencia de dicho equipo o planta. Estos índices son publicados por revistas, asociaciones o instituciones.

La utilización de los métodos anteriores depende del tipo de estudio que se este realizando y los recursos destinados a este.

Considerando que México presenta una situación económica diferente a los Estados Unidos u otros países, la exactitud de una estimación de costos con modelos desarrollados en otros países queda en una interrogante, esto obedece a que algunos equipos pueden tener un costo mucho menor que el de otros países, al que además se tendría que adicionar el costo de importación y fletes.

Por otra parte la necesidad de estimar el costo de equipo no es solo inherente a los que desarrollan proyectos. En general la mayoría de las empresas requieren constantemente conocer el monto de su inversión fija, ya sea para efectos fiscales o seguros.

III MODELOS PARA ESTIMAR COSTOS DE EQUIPOS DE PLANTAS DE PROCESO.

En estos capitulos se desarrollan modelos para estimar el costo de equipo principal de plantas de proceso.

El procedimiento que se utilizo para la obtención de los modelos se basa en datos reales de costos de equipo, ajustandolos a una función de acuerdo a las características principales del mismo.

III.1 REACTORES

El reactor químico es el equipo en cual gira todo el entorno del proceso. El diseño de estos equipos es función del sistema de reacción que se efectuará en el.

III.1.1 TIPOS DE REACTORES.

Los reactores químicos varían grandemente en tamaño y forma y el método de operación. La clasificación de estos equipos puede realizarse en tres grupos:

- 1.- Batch ó continuos.
- 2.- Tanques ó tubulares
- 3.- Homogéneos ó heterogéneos

Reactores intermitentes.- Cuando la carga y descarga de un reactor se lleva a cabo de una manera discontinua, se dice que el reactor es intermitente ó batch. Este tipo de reactores se caracteriza por la extensión de la variación de la reacción y propiedades de reacción de la mezcla con el tiempo.

Reactores continuos.- Este tipo de reactores se les llama así, debido a que la alimentación de reactivos y salida de productos se realiza en forma continua, en el cual la extensión de la reacción y propiedades tales como temperatura y composición pueden variar con la posición en el reactor pero no con el tiempo.

Reactor tanque.- Este es quizás el tipo de reactor más comunmente utilizado en la industria. En la mayoría de los casos, esta equipado con algun medio de agitación, así como de elementos de transmisión de calor. Este tipo admite tanto operación continua como discontinua.

Reactor tubular.- Este tipo de reactor se construye de un solo tubo continuo o varios tubos en paralelo. Los reactivos entran por un extremo del reactor y salen por el otro, con una variación continua en la composición de la mezcla de reacción entre los dos puntos.

La tercera clasificación se refiere al número de fases en el sistema de reacción, esta clasificación es significativa debido a la influencia del número de fases así como su importancia en la transferencia de fases. De esta clasificación se generan las dos siguientes:

Reactor heterogéneo.- Se les llama heterogéneo cuando en el se lleva cabo un reacción en dos o más fases.

Reactor homogéneo.- Es cuando la reacción se lleva a cabo en una sola fase.

De las clasificaciones anteriores se obtienen los siguientes reactores típicos.

- 1.- Reactor tubular con recirculación.
- 2.- Reactor multitubo
- 3.- Reactor catalítico de flujo radial.
- 4.- Reactor de tanque agitado con enfriamiento interno
- 5.- Reactor a temperatura constante.
- 6.- Reactor con interenfriadores.

III.1.2.- CASO DE ESTUDIO. (REACTORES VIDRIADOS)

En este capítulo se desarrolla un modelo para estimar el costo de reactores de acero vidriado. Estos reactores generalmente operan de manera intermitente y se fabrican de acuerdo a una línea estándar de construcción de 20 a 7000 gal de capacidad, en México se fabrican reactores hasta de 3,000 galones.

- VARIABLES DE DISEÑO A CONSIDERAR EN DESARROLLO DEL MODELO.

Aunque un reactor posee una gran cantidad de variables de diseño, en este análisis y debido al estándar de construcción, el estimado del costo del equipo se realizará mediante dos de sus principales variables; la capacidad y la presión de diseño.

III.1.3 DESARROLLO DEL MODELO.

Del análisis estadístico realizado con los datos mostrados en la tabla III.1 de reactores, mediante un análisis multivariable se llegó al siguiente modelo (ecuación III.1):

$$\text{COSTO DEL REACTOR} = A + B \cdot \text{CAP} + C \cdot \text{CAP}^2 + D \cdot \text{PD} \quad (\text{III.1})$$

DONDE:

- A : ES UNA CONSTANTE = 89'716,691.3810
 B : ES UNA CONSTANTE = 30,700.6834
 C : ES UNA CONSTANTE = 7.9895
 D : ES UNA CONSTANTE = 666,626.2382
 CAP : ES LA CAPACIDAD DEL REACTOR EN GALONES
 PD : ES LA PRESION DE DISEÑO EN PSI

Donde el costo esta relacionado al 31 de diciembre de 1989 en pesos.

Tabla III.1 Capacidad, costo real y costo estimado, así como su variación de reactores vidriados.

CAPACIDAD GALONES	PRESION DE DISEÑO PSI	COSTO REAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIACION %
20	25	83'808,000	106'499,557	27.67
200	25	105'912,360	112'842,065	6.54
300	25	127'788,867	116'311,610	-8.98
500	25	142'374,078	123'730,072	-13.10
150	100	150'592,500	161'164,182	7.02
500	100	165'986,982	173'727,040	4.66
750	100	180'572,193	183'898,940	1.84
1,000	100	201'406,338	195'069,532	-3.15
1,100	100	205'853,400	199'817,403	-2.93
1,500	100	237'868,056	220'406,791	-7.34
2,000	100	254'016,810	249'738,816	-1.68
2,000	100	256'271,769	249'738,816	-2.55
3,000	100	329'197,824	320'387,167	-2.68
3,000	100	332'613,000	320'387,167	-3.68
3,700	100	366'660,000	379'348,558	3.46
4,000	100	369'826,371	407'014,586	10.06
7,000	100	772'605,000	762'771,243	-1.27

FUENTE: COSTOS DE PFAUDLER, VIA TELEX.

NOTA: Estos costos incluyen el recipiente, el agitador y el motor del agitador.

SOPORTE DEL MODELO.

Del analisis multivariable de los datos reportados se encontraron los siguientes parámetros estadísticos:

COEFICIENTE DE REGRESION	R	= 0.99571
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION		= 6.39 %
NO. DE DATOS	N	= 17

En la tabla III.1 se presenta la variación de los costos reales con respecto a los estimados por la ecuación III.1.

III.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Los intercambiadores de calor son equipos para transferir energía de una corriente caliente a una corriente fría.

Estos se clasifican en base a la función que desempeñan dentro de un proceso.

a).- Intercambiadores.- Recuperan energía entre dos corrientes del proceso.

b).- Calentadores.- Se usan para calentar fluidos de proceso utilizando generalmente como medio de calentamiento vapor.

c).- Enfriador.- Su función es enfriar las corrientes de proceso a las condiciones requeridas, utilizando para tal efecto agua como medio de enfriamiento.

d).- Condensadores.- Son enfriadores con el propósito principal de transferir calor latente.

e).- Hervidores.- Se usan para suplir los requerimientos de energía en los procesos de destilación como calor latente.

f).- Evaporadores.- Se emplean para concentrar soluciones por evaporación de agua.

g).- Vaporizador.- Es un intercambiador en el que un fluido está sujeto a vaporización y que no forma parte de un proceso de evaporación o destilación.

III.2.1 TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Como se mencionó anteriormente los intercambiadores de calor se clasifican de acuerdo a la función que realizan, sin embargo de acuerdo a las características de diseño y construcción se agrupan en:

INTERCAMBIADORES DE DOBLE TUBO.

Se utilizan cuando el área de transferencia de calor es relativamente pequeña, y se dispone de espacio suficiente para su instalación, ya que en ocasiones es necesario instalar un gran número de horquillas. El tamaño de las unidades oscila entre 1 a 500 m² de superficie.

PLACAS PLANAS.

Presentan alta eficiencia en la transferencia de calor, a expensas de una alta caída de presión. No se recomiendan a presiones mayores de 300 lb/in² debido a la resistencia limitada de las superficies planas. Su tamaño por unidad varía desde 1 a 1200 m².

PLACAS EN ESPIRAL.

Se utilizan para servicios de capacidad pequeña con fluidos viscosos, corrosivos, sucios y que forman incrustaciones. Presentan limitaciones a presiones altas, sus restricciones están sujetas a los materiales de construcción. Estos equipos se fabrican con áreas de transferencia de hasta 200 m².

PLACAS SOLDADAS.

Es similar al de placas planas, con la diferencia que en este se encuentran soldadas las placas. Su restricción de aplicación se encuentra sujeto a los materiales de construcción. No son recomendables para fluidos incrustantes, el tamaño de estas unidades es de mayores de 1000 m². La limpieza es solo por medios químicos.

TUBOS Y CORAZA.

Su uso es más común en las industrias de proceso debido a que están diseñados para operar en un amplio rango de presión y temperatura y se fabrican en una amplia gama de materiales.

Los intercambiadores de tubos y coraza pueden clasificarse en los siguientes tipos:

DE ESPEJOS FIJOS.- Es el más utilizado por sencillo y económico. El interior de los tubos puede limpiarse por medios mecánicos y químicos, mientras que el exterior de estos solo puede hacerse por métodos mecánicos.

DE TUBOS EN U.- Es más caro que el de espejos fijos, el haz de tubos es removible por lo que se tiene acceso para limpieza química y mecánica externa.

DE CABEZAL FLOTANTE.- Se utiliza para altas presiones y temperaturas, el haz de tubos es removible y el diseño del cabezal flotante es caro. Se utiliza para operaciones bruscas y el acceso a la limpieza es más fácil.

III.2.2 CASO DE ESTUDIO. (TUBOS Y CORAZA)

El intercambiador de tubos y coraza es uno de los equipos que por su diseño operan en un amplio rango de presiones y temperaturas, además se fabrican en una amplia gama de materiales, lo que conduce a una mayor uso de estos en la industria, por tal motivo el modelo que se desarrolla está enfocado a los intercambiadores de tubos y coraza con espejos fijos.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO.

Las variables de diseño que influyen en el costo del equipo se presentan en la tabla III.2. Entre estas variables se encuentran los materiales de construcción los cuales están en función de las características del fluido y condiciones de operación, por otro lado se tienen variables que representan las características físicas de equipo y por último las variables de operación.

Tabla III.2 Variables de diseño de un intercambiador del tipo tubos y coraza.

MATERIAL DE CONSTRUCCION DE LA CORAZA
 MATERIAL DE CONSTRUCCION DE TUBOS
 MATERIAL DE CONSTRUCCION DE ESPEJOS
 MATERIAL DE CONSTRUCCION DE CABEZALES
 TIPO DE TUBOS
 DIAMETRO DE LA CORAZA
 LONGITUD DE LOS TUBOS
 NUMERO DE TUBOS
 NUMERO DE PASOS
 AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR
 AREA DE FLUJO
 RANGOS DE TEMPERATURA
 CAIDA DE PRESION
 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

III.2.3 DESARROLLO DEL MODELO.

Las variables antes mencionadas están relacionadas entre sí por ejemplo, el diámetro de los tubos está incluido en el área de transferencia de calor, la cual toma en cuenta el diámetro y longitud del tubo, esta última determina la longitud de la coraza y por ende el gasto en materiales de esta sección, la construcción en sí está diseñada para ciertas condiciones de presión y temperatura. Los materiales de construcción deben de soportar las características físicas y químicas de los fluidos. Con base en lo anterior el modelo desarrollado está soportado en las características del equipo, tales como: dimensiones principales, tipo construcción y los materiales utilizados involucran a todas las variables de diseño, así pues el modelo correlaciona las siguientes variables: diámetro de la coraza, longitud de tubos, número de tubos y área de transferencia de calor con el costo del equipo.

Así de esta manera el modelo a desarrollar es válido para intercambiadores del tipo tubos y coraza con espejos fijos y los siguientes materiales de construcción: acero al carbón en la coraza y acero inoxidable en tubos, espejos y cabezales.

La tabla III.3 contiene los datos utilizados para la correlación multivariable, así como los costos reales y estimados en miles de pesos y la variación.

Tabla III.3. Datos y costos de intercambiadores del tipo tubos y coraza API como la variación de estos.

DI IN	LT FT	NT	AT FT2	COSTO REAL MILES \$	COSTO ESTIMADO MILES \$	VARIA- CION %
10.000	10.00	28	73.00	18,900	21,127	11.78
10.136	8.67	44	77.00	19,950	19,864	-0.43
10.136	10.00	44	115.00	29,400	23,593	-19.75
13.250	8.00	61	128.00	31,500	33,909	7.65
16.250	8.00	97	203.00	42,000	48,006	14.30
21.250	6.67	210	366.52	78,750	73,187	-7.06
31.000	5.00	834	819.00	135,450	136,034	0.43
35.000	14.00	646	2,368.00	214,200	214,430	0.11
28.500	8.00	358	729.00	116,550	116,396	-0.13
21.250	16.00	189	787.49	95,550	95,837	0.30
15.250	16.00	150	502.65	63,000	63,073	0.12
10.020	16.00	52	163.36	29,400	29,251	-0.51
12.000	16.00	76	238.76	39,900	39,600	-0.75
25.000	16.00	252	1,055.58	120,750	120,825	0.06
17.250	12.00	178	419.40	64,050	64,362	0.49
10.020	8.00	52	81.68	21,000	20,685	-1.50
35.000	12.00	454	1,426.28	171,150	171,599	0.26
23.250	12.00	292	688.01	98,700	98,127	-0.58
29.000	16.00	358	1,415.81	151,200	150,804	-0.26
19.250	16.00	204	640.88	82,950	83,328	0.46
17.250	16.00	224	703.72	79,800	79,307	-0.62
10.000	16.00	50	157.06	29,400	28,891	-1.73
21.250	16.00	270	848.23	99,750	99,853	0.10
19.250	8.00	220	345.58	66,150	66,490	0.51
8.000	5.00	25	25.53	9,450	8,949	-5.30
8.000	5.00	16	20.94	8,400	8,573	2.06
8.000	8.00	32	50.27	12,600	12,040	-4.44
10.000	8.00	56	87.96	21,000	20,945	-0.26
8.000	8.00	30	47.12	11,550	11,876	2.82
10.000	8.00	52	81.68	21,000	20,616	-1.83
12.000	10.00	48	125.66	30,450	30,556	0.35
12.000	10.00	45	117.81	30,450	30,183	-0.88

FUENTE: COTIZACION ESCRITA POR AVANTE INGENIEROS S.A. DE C.V.

La ecuación III.2 correlaciona el costo (en miles de pesos) del equipo al 31 de diciembre de 1989 con las dimensiones principales.

$$\text{COSTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR} = A + B \cdot DI + C \cdot LT + D \cdot NT + E \cdot AT \quad (\text{III.2})$$

DONDE A : ES UNA CONSTANTE = -23.595.3
 B : ES EL COEFICIENTE DE DI = 3.464.538
 C : ES EL COEFICIENTE DE LT = 660.708
 D : ES EL COEFICIENTE DE NT = 19.226
 E : ES EL COEFICIENTE DE AT = 40.159
 DI : ES EL DIAMETRO DE LA CORAZA EN IN
 LT : ES LA LONGITUD DE LOS TUBOS EN FT
 NT : ES EL NUMERO DE TUBOS
 AT : ES EL AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN Ft²

SOPORTE DEL MODELO

El análisis estadístico de las variables con respecto al costo del equipo arrojó los siguientes parámetros.

COEFICIENTE DE REGRESION	R	= 0.9984
NUMERO DE DATOS	N	= 32
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION		= 2.74 %

La tabla III.3 presenta una comparación entre los valores reales y los valores estimados en miles de pesos para intercambiadores de calor del tipo tubos y coraza.

III.3 AGITADORES

La agitación dentro de los procesos industriales es ampliamente requerida debido a diferentes necesidades tales como:

- Mantener partículas sólidas en suspensión.
- Mezclar líquidos.
- Dispersar un gas en un líquido
- Formar una emulsión
- Transferir masa o calor, etc.

III.3.1 TIPOS DE AGITADORES.

Los agitadores se clasifican de acuerdo a las hélices o impulsores que disponen para la agitación, esto se basa en el ángulo que forman las aspas con el plano de rotación de la hélice, de donde se obtienen dos grupos que son; de flujo axial y flujo radial.

Flujo axial.- Las hélices de flujo axial incluyen todas aquellas que tienen aspas que forman un ángulo de 90° con el plano de rotación, estos agitadores generan una corriente paralela al eje del agitador.

Flujo radial.-Estas hélices se caracterizan por estar colocadas en forma paralela al eje del impulsor, de las cuales las más pequeños con aspas múltiples se conocen como "turbinas" y las mayores con menor cantidad de aspas como "de paleta". Este tipo de impulsor genera una corriente de tipo radial.

III.3.2 CASO DE ESTUDIO. (TIPO PROPELA)

El caso para el cual se desarrolla el modelo está enfocado a los agitadores con hélices para flujo axial, y especialmente a los agitadores tipo propela con transmisión por engranes, para trabajar con motor a prueba de explosión, en un rango de 2 a 200 hp.

En este caso se desarrollan dos modelos que cubren dos materiales comunes en la industria, acero al carbón y acero inoxidable tipo 304

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO DE UN AGITADOR.

Las principales variables que afectan el costo corresponden a las características del equipo y sistema motriz, estas llevan implícitas las características del fluido y condiciones de operación tales como, viscosidad, volumen de mezclado y tiempo de residencia, etc. Estas variables se indican en tabla III.4, sobre las cuales versará el análisis para el desarrollo del modelo.

Tabla III.4 Variables principales que afectan el costo de un agitador tipo propela con transmisión por engranes.

 TIPO DE MATERIAL.
 POTENCIA DEL MOTOR.
 RPM DEL MOTOR.
 LONGITUD DE FLECHAS
 TAMAÑO DEL IMPULSOR
 PESO DEL AGITADOR.

III.3.3 DESARROLLO DEL MODELO.

A) AGITADORES EN ACERO AL CARBON

De las variables indicadas, la longitud de la flecha, el tamaño del impulsor y la potencia del motor, son las que se utilizaron para correlacionar el costo del equipo. Estas variables y los resultados de la ecuación se muestran en la tabla III.5

TABLA III.5 Datos y resultados de agitadores en acero al carbón.

LONGITUD FLECHA IN	TAMAÑO IMPULSOR IN	HP	COSTO REAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIACION %
100	29	2	9'742,081	10'509,407	7.88
100	32	3	12'373,073	11'907,976	-3.76
110	35	5	20'312,691	17'732,412	-12.70
140	44	15	32'501,951	36'460,465	12.18
150	50	25	44'156,234	46'136,719	4.49
160	55	40	61'379,772	57'174,372	-6.85
180	59	60	74'669,166	74'900,850	0.31
190	65	100	105'283,607	103'222,612	-1.96
200	71	150	145'631,993	149'661,067	2.77
230	75	200	218'919,472	217'264,160	-0.76

 FUENTE: CHUMEX, S.A.

Un análisis estadístico de estas variables arroja una ecuación que correlaciona el costo (en pesos) del equipo al 31 de diciembre de 1989 con una función de las variables tratadas.

$$\text{COSTO DEL AGITADOR} = A + B * \text{FLECHA} + C * (\text{IMPUL})^2 + D * (\text{HP})^2 \quad (\text{III.3})$$

DONDE:

A : ES UNA CONSTANTE = -38,443,546.70
 B : ES UNA CONSTANTE = 425,803.224
 C : ES UNA CONSTANTE = 7,563.745
 D : ES UNA CONSTANTE = 2,880.672
 FLECHA : ES LONGITUD DE LA FLECHA EN PULG.
 IMPUL : ES TAMAÑO DEL IMPULSOR EN PULG.
 HP : ES LA POTENCIA DEL MOTOR. (HP)

SOPORTE DEL MODELO

El modelo desarrollado que resulta de una correlación multivariable, se basa en los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION R = 0.999163
 NO DE DATOS = 10
 ERROR GLOBAL DE LA ECUACION = (+/-)5.36 %

La tabla III.5 muestra una comparación de los valores reales y estimados del costo de agitadores en acero al carbón.

En la figura III.1 se presenta el costo del equipo en función de la potencia para realizar una evaluación rápida

B) AGITADORES EN ACERO INOXIDABLE 304

Para este material se prosiguió con la misma secuencia que para el acero al carbón. Estas variables y los resultados de la ecuación se muestran en la tabla III.6

Figura III.1 Costos de agitadores en acero al carbon.

COSTO DEL AGITADOR: PESOS M.H.
(Millones)

AGITADORES EN ACERO AL CARBON
VALORES AL 31-DIC-1989

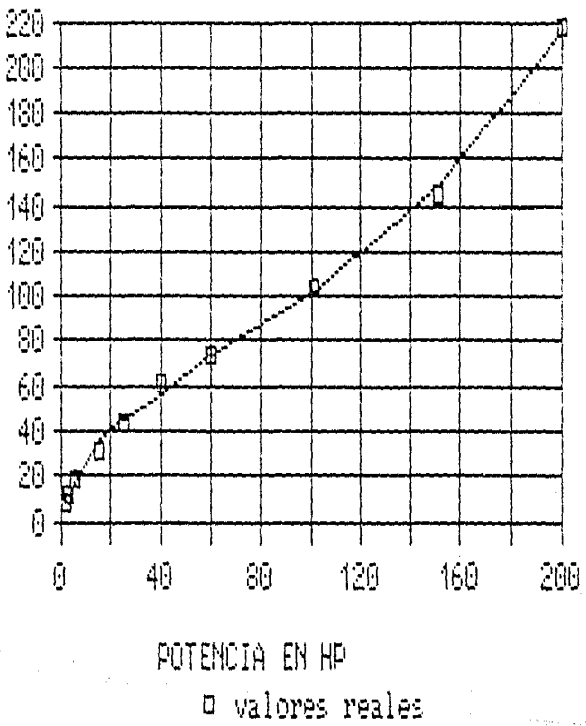


TABLA III.6 Datos y resultados de agitadores en acero inoxidable tipo 304

LONGITUD FLECHA IN	TAMANO IMPULSOR IN	HP	COSTO REAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIACION %
100	29	2	15'652,629	16'224,782	3.66
100	32	3	19'978,732	21'680,665	8.52
110	35	5	23'675,585	24'522,364	3.58
140	44	15	39'170,901	36'753,711	-6.17
24	20	7.5	39'370,017	27'493'723	-30.17
150	50	25	49'632,205	51'638,455	4.04
160	55	40	68'955,468	67'240,313	-2.49
180	59	60	86'626,945	80'950,894	-6.55
190	65	100	122'284,525	120'765,497	-1.24
200	71	150	168'954,005	182'626,047	8.09
230	75	200	254'270,010	247'536,518	-2.65

FUENTE: PFAUDLER, S.A

Un análisis estadístico de estas variables arroja una ecuación que correlaciona el costo (en pesos) del equipo al 31 de diciembre de 1989 con una función de las variables mencionadas anteriormente.

$$\text{COSTO} = A + B \cdot \text{FLECHA} + C \cdot (\text{IMPUL})^2 + D \cdot (\text{HP})^2 \quad (\text{III.4})$$

DONDE:

- A : ES UNA CONSTANTE = 23'064,687.360
- B : ES UNA CONSTANTE = -318,511.843
- C : ES UNA CONSTANTE = 29.724.406
- D : ES UNA CONSTANTE = 3.263.244
- FLECHA : ES LONGITUD DE LA FLECHA EN PULG.
- IMPUL : ES TAMAÑO DEL IMPULSOR EN PULG.
- HP : ES LA POTENCIA DEL MOTOR. (HP)

SOPORTE DEL MODELO

El modelo desarrollado resulta de una correlación multivariable, basada en los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION	R = 0.9954730
NO DE DATOS	= 11
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION	= 7.01 %

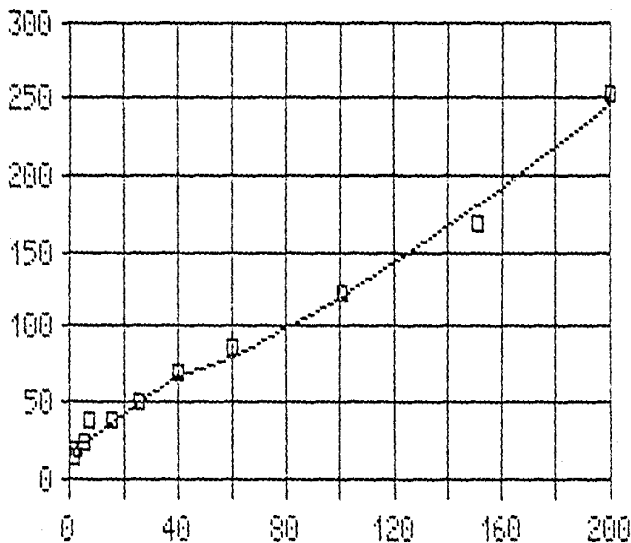
La tabla III.6 muestra una comparación de los valores reales y estimados de agitadores en acero inoxidable.

La figura III.2 representa el costo del equipo en acero inoxidable en función de la potencia, para realizar una evaluación rápida.

Figura III.2 costos de agitadores en acero inoxidable.

COSTO DEL AGITADOR: PESOS M.N.
(Millones)

AGITADORES EN ACERO INOXIDABLE
VALORES AL 31-DIC-1989



POTENCIA EN HP

□ valores reales

III.4 TANQUES.

El uso de tanques es muy frecuente en cualquier tipo de industria que necesite de almacenar para su proceso o servicio, diversos tipos de sustancias. En la industria química, las funciones que desempeñan estos equipos es muy variada, así tenemos tanques para almacenamiento de proceso tales como acumuladores, separadores, tanques de balance, etc.

III.4.1 TIPOS DE TANQUES.

Existen básicamente dos clasificaciones principales de tanques; atmosféricos y a presión.

Los primeros como su nombre lo indica trabajan a presión atmosférica o con una diferencia de unas cuantas lb/in² dependiendo de las características del fluido. Estos equipos generalmente almacenan aceites, aguas y otros líquidos cuya presión de vapor a las condiciones de almacenamiento no son altas.

Los tanques a presión constituyen el otro subgrupo y operan a diferentes presiones que la atmosférica y almacenan todo tipo de fluidos.

De acuerdo a la función que desempeñan los tanques dentro del proceso se clasifican en:

Recipientes de balance para líquidos son recipientes que preceden a un equipo principal y su capacidad depende del tiempo de residencia necesario para el equipo en cuestión.

Recipientes separadores. Se utilizan para separar dos o más componentes y se clasifican en:

- Separadores líquido-líquido
- Separadores líquido-vapor

Tanques acumuladores. Son tanques de acumulación de un producto intermedio en un equipo principal de proceso.

III.4.2 CASO DE ESTUDIO.

En esta parte se desarrolla un modelo para estimar el costo de tanques de tipo cilíndrico fabricados en acero al carbón y acero inoxidable. Este modelo se basa en la cantidad de material del tanque que depende de las características físicas del equipo y el tipo de soportería del mismo.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO.

La cantidad y tipo de material requerido para su fabricación es la principal variable que afecta el costo de estos equipos.

Otras características de diseño deben ser consideradas tales como: tipo de tapas, dimensión y tamaño de registro-hombre y boquillas, así como la soporteria.

La tabla III.7 muestra las principales variables que deben ser consideradas en la estimación de costos de tanques cilíndricos.

Tabla III.7 Variables a considerar en la estimación de costos de tanques cilíndricos.

 DIAMETRO DEL TANQUE
 LONGITUD TANGENTE A TANGENTE
 ESPESOR DEL CILINDRO
 TIPO DE TAPAS
 ESPESOR DE TAPAS
 MATERIAL DEL CILINDRO
 MATERIAL DE TAPAS
 NUMERO Y DIMENSION DE REGISTROS-HOMBRE
 NUMERO Y DIMENSION DE BOQUILLAS
 SOPORTERIA DEL TANQUE

III.4.3 DESARROLLO DEL MODELO

El modelo presentado en este capítulo se desarrolla con costos en pesos al 31 de diciembre de 1989.

Para obtener un estimado del costo del tanque es necesario conocer determinadas características del equipo tales como:

DIAMETRO DEL TANQUE
 LONGITUD DEL TANQUE
 FORMA DE TAPAS
 ESPESOR DEL CILINDRO
 ESPESOR DE TAPAS
 NO. DE REGISTROS
 TIPO DE SOPORTERIA
 MATERIAL
 TIPO (HORIZONTAL O VERTICAL)

Estas características se ajustaran a un modelo para estimar el costo del equipo.

Paso 1.- Cálculo del área de la parte cilíndrica.

$$A = \pi \cdot D \cdot L \quad (\text{III.5})$$

DONDE:

A : ES EL AREA DEL CILINDRO EN M²
 π : ES LA CONSTANTE 3.14159
 D : ES EL DIAMETRO DEL TANQUE EN M.
 L : ES LONGITUD TANGENTE-TANGENTE, DEL CILINDRO EN M

Paso 2.- Cálculo del peso del cuerpo mediante la ecuación III.6.

$$Wc = A \cdot Ec \cdot 199.18 \quad (\text{III.6})$$

DONDE:

WC : ES EL PESO DEL CILINDRO EN Kg.
 EC : ES EL ESPESOR DEL CILINDRO EN IN.
 199.18 : PESO EN Kg/M² DE PLACA DE 1" DE ESPESOR, EN CERO AL CARBON O ACERO INOXIDABLE.

Paso 3.- Cálculo del peso de tapas.- Determinar el peso de las tapas por medio de las ecuaciones III.7 al III.12 dependiendo del tipo y espesor de las mismas.

A).- Tapas planas.

$$Wti = 199.18 \cdot Eti \cdot \pi \cdot (D^2) / 4 \quad (\text{III.7})$$

B).- Tapas cónicas.

$$Wti = 199.18 \cdot Eti \cdot \pi \cdot D \cdot G / 2 \quad (\text{III.8})$$

C).- Tapas esféricas.

$$Wti = 199.18 \cdot Eti \cdot \pi \cdot (D^2) / 2 \quad (\text{III.9})$$

D).- Tapas elíptica.

$$Wti = (13.64112 - 7.10447D + 129.4701(D^2)) 2Eti. \quad (\text{III.10})$$

E).- Tapas F & D. (Flash and Dished o abombadas)

$$Wti = (1.586650 + 11.94226D + 92.00077(D^2)) 2Eti. \quad (\text{III.11})$$

F).- Tapas hemiesféricas.

$$Wt_i = (0.081767 + 4.860957D + 193.0218(D^2)) 2Eti. \quad (III.12)$$

DONDE :

Wt_i : ES EL PESO DE LA TAPA i EN Kg.

Eti : ES EL ESPESOR DE LA TAPA i EN IN.

G : ES LA GENERATRIZ DEL CONO EN M.

Las ecuaciones anteriores dan como resultado el peso de una tapa

Paso 4.- Cálculo del peso total del tanque.- (Parte cilíndrica y tapas).

$$WT = Wt_1 + Wt_2 + Wc \quad (III.13)$$

DONDE :

WT : ES PESO TOTAL TANQUE

Paso 5.- Cálculo de costo del tanque.- Con el peso del tanque en kg, este se multiplica por el costo del acero al carbono que es igual a \$ 5,676.00/Kg (este costo incluye la mano de obra que se necesita para la fabricación del tanque).

El costo por Kg de acero se obtuvo mediante la ecuación III.14.

$$\text{COSTO/KG ACERO AL CARBON} = 0.475 \text{ SM} + \text{PP} \quad (III.14)$$

DONDE:

SM : ES EL SALARIO MINIMO DIARIO VIGENTE EN EL D.F.

PP : ES PRECIO POR KG DE LA PLACA EN A. AL CARBON '85 C

Paso 6.- Peso de la base.- Para tanques horizontales y verticales el costo de la soportería se puede estimar en función de la capacidad del tanque en m³.

La tabla III.8 presenta los pesos de cunetas metálicas con la diferencia que el tipo 1 posee un diseño más reforzado.

La tabla III.9 presenta dos bases diferentes, el tipo F es una especie de cilindro, ligeramente menor en su diámetro con respecto a el diámetro del vaso. Y el tipo S son tres soportes verticales que en este caso se consideraron como tubos, aunque en ocasiones estos son remplazados por ángulos, canales o viguetas.

Paso 7.- Costo de la base.- El costo de la base se obtiene multiplicando el peso de las bases por el costo de estructuras, el cual es igual a \$4,135.00/Kg (este valor se determinó mediante una observación de costo de estructura).

Paso 8.- Costo de ingeniería.- El costo de ingeniería, es agregado en un porcentaje de acuerdo al costo del material del tanque, los cuales se muestran en la tabla III.10.

Tabla III.8 Bases metálicas para tanques horizontales.

CAP. M3	ESP. IN	N	BASE TIPO 1		BASE TIPO 2	
			WB KG/BASE	WT KG	WB KG/BASE	WT KG
5.0	1/4	2	219.94	439.87	210.49	420.98
7.5	1/4	2	227.24	454.47	216.38	432.77
10.0	1/4	2	324.02	648.05	310.98	621.97
15.0	1/4	2	324.02	648.05	310.98	621.97
20.0	1/4	2	447.55	895.10	430.53	861.06
30.0	1/4	2	663.33	1,326.66	640.47	1,280.95
40.0	1/4	3	675.27	2,025.82	650.66	1,951.97
50.0	1/4	3	675.27	2,025.82	650.66	1,951.97
60.0	1/4	3	934.80	2,804.38	903.46	2,710.39
80.0	5/16	4	1,168.54	4,674.16	1,129.44	4,517.76
100.0	5/16	4	1,168.54	4,674.16	1,129.44	4,517.76

FUENTE: Catálogo de tanques de SVIROPO, S.A. DE C.V.

Tabla III.9 Bases metálicas para tanques verticales.

CAP. M3	ESP. IN	BASE TIPO F		BASE TIPO S	
		WT KG	WT KG	WT KG	WT KG
5.0	1/4	90.310		75.082	
7.5	5/16	112.982		93.856	
10.0	3/8	169.888		140.787	
15.0	3/8	169.888		140.787	
20.0	1/2	272.413		225.267	
30.0	5/8	426.564		351.987	
40.0	5/8	426.564		351.987	
50.0	3/4	511.850		422.362	
60.0	3/4	615.094		506.834	
80.0	7/8	718.035		591.657	
100.0	7/8	718.035		591.657	

FUENTE: Catálogo de tanques de SVIROPO, S.A. DE C.V.

Para el costo de tanques en acero inoxidable tipo 304 basta multiplicar el costo del kg en acero al carbón por 5.8, que es el factor encontrado para este material.

Tabla III.10 Factores de ingeniería para tanques de acuerdo al costo de materiales.

ACERO AL CARBON	ACERO INOXIDABLE	FACTOR
0 A 5 MILLONES	0 A 30 MILLONES	25%
5 A 10 MILLONES	30 A 60 MILLONES	20%
10 A 15 MILLONES	60 A 90 MILLONES	15%
15 A 20 MILLONES	90 A 120 MILLONES	10%
20 MILLONES O MAS	120 MILLONES O MAS	5%

SOPORTES DEL MODELO.

La tabla III.11 presenta una comparación de los costos reales y costos estimados de tanques en acero al carbón, así como la variación de estos. Mientras que la tabla III.12 muestra datos para acero inoxidable, de los materiales presentados se obtuvieron los siguientes errores globales; en acero al carbón es de 7.11 %, mientras que para acero inoxidables es de 10.34 %.

Tabla III.11 Datos y costos de tanques en acero al carbón.

DIAM. M	LONG. M	ESP. IN	PESO TOTAL	COSTO REAL	COSTO ESTIMADO	VAR. %
0.87	2.44	0.105	164	1'312,000	1'277,000	-2.70
0.96	2.74	0.105	202	1'599,000	1'572,000	-1.67
1.06	3.66	0.105	291	2'203,000	1'239,000	1.65
1.25	3.35	0.105	325	2'473,000	2'516,000	1.74
1.35	3.66	0.105	383	2'955,000	2'957,000	0.07
1.35	4.27	0.105	437	3'330,000	2'356,000	0.78
1.44	4.57	0.105	499	3'803,000	3'815,000	0.30
1.54	5.49	0.125	754	5'589,000	5'868,000	4.99
1.83	5.79	0.188	1,440	9'842,000	10'110,000	2.73
2.12	6.10	0.188	1,781	13'033,000	12'059,000	-7.47
1.68	1.53	0.375	1,433	8'700,000	9'758,000	12.17
3.66	13.90	0.188	6,945	79'480,000	72'854,000	-8.34
1.54	3.45	0.138	482	3'250,000	3'418,000	5.16
2.23	10.05	0.188	3,002	30'889,000	36'977,000	19.71
2.20	2.50	0.313	1,667	8'360,000	10'002,000	19.64
1.94	10.05	0.188	2,573	22'186,000	27'676,000	24.75

FUENTE: COTIZACIONES Y FACTURAS DIVERSAS.

Tabla III.12 Datos y costos de tanques en acero inoxidable.

DIAM. M	LONG. M	ESP. IN	PESO TOTAL	COSTO REAL	COSTO ESTIMADO	VAR. %
1.00	1.20	0.188	244*	14,700,000	15'354,000	4.45
1.00	1.20	0.188	244*	14,700,000	15'354,000	4.45
1.00	1.20	0.313	388*	21'700,000	17'259,000	-20.47
2.20	1.70	0.188	742	31'400,000	29'074,000	-7.41
1.20	1.40	0.375	649*	28'400,000	28'355,000	-0.16
1.00	1.20	0.313	388*	21'700,000	17'259,000	-20.47
1.00	1.20	0.313	388*	21'700,000	17'259,000	-20.47
1.00	1.20	0.250	335*	21'900,000	22'830,000	4.25
1.00	1.20	0.313	457*	24'350,000	19'988,000	-17.91
4.78	4.78	0.500	10,719	292'000,000	352'786,000	-20.82
1.00	1.20	0.188	244*	17'300,000	15'354,000	-11.25
1.00	1.20	0.188	244*	17'300,000	13'354,000	-11.25
4.67	4.67	0.375	7,674	228'000,000	252'580,000	10.78
3.44	3.44	0.188	2,084	64'000,000	75'119,000	17.37
2.80	2.80	0.188	1,375	50'000,000	51'711,000	3.42
1.86	2.23	0.188	691	30'000,000	27'097,000	-9.68
1.46	5.20	0.135	733	27'000,000	28'717,000	6.36
1.80	4.20	0.375	2,255*	98'000,000	90'653,000	-7.50
2.20	3.75	0.375	2,350*	102'000,000	94'446,000	-7.41
1.83	4.30	0.375	2,498*	100'500,000	100'967,000	0.46
0.91	2.00	0.375	674*	27'000,000	28'249,000	4.63
2.74	3.10	0.750	7,136*	309'748,000	264'725,000	-14.54
2.74	2.92	1.000	10,878*	548'289,000	456'053,000	-16.82
3.44	3.44	0.188	2,084*	64'000,000	75'119,000	17.37
2.80	2.80	0.188	1,375*	50'000,000	51'711,000	3.42
1.86	2.23	0.188	692*	30'000,000	27'097,000	-9.68
1.46	5.20	0.135	733*	27'000,000	28'717,000	6.36

FUENTE: COTIZACIONES Y FACTURAS DIVERSAS.

* Estos tanques son enchaquetados (solo se presenta el costo del tanque).

III.5 COMPRESORES.

El compresor dentro de la industria química juega un papel importante debido a la necesidad de manejar gases o mezclas de estos dentro del proceso. De acuerdo al tipo y condición del gas se han desarrollado una gran variedad de compresores para satisfacer estas necesidades.

III.5.1 TIPOS DE COMPRESORES.

De acuerdo a la forma en que es impulsado el gas los compresores se clasifican en:

Compresores centrífugos utilizan la fuerza centrífuga para su funcionamiento. Estos equipos manejan grandes volúmenes de gas a elevadas presiones.

Compresores reciprocantes; son compresores de movimiento alternativo impulsados por motores de vapor, eléctricos y de combustión interna.

Compresores de tornillo, son compresores de desplazamiento positivo de los llamados rotatorios, pueden manejar capacidades de 25.000 ft³/min y razones de compresión de 4 a 1 y mayores.

Algunos compresores además de las clasificaciones anteriores se pueden clasificar de acuerdo al gas que manejen.

III.5.2 CASO DE ESTUDIO. (RECIPROCANTES)

El compresor reciprocante es uno de los más utilizados en la industria química debido a sus características de operación dadas por razones de compresión, número de etapas y capacidades.

Dentro de los usos más importantes que tiene el compresor reciprocante en la industria es el manejo de aire y refrigerantes.

Las diferencias entre las características de estos fluidos genera una diferencia en el costo de estos compresores y de ahí que en este capítulo se desarrollen dos modelos para estos equipos.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO

Las variables más importantes para estimar el costo del equipo se resumen en la tabla III.13, estas variables involucran las características de diseño y operación del equipo, de las cuales el servicio, y la potencia del motor son las más relevantes, ya que las restantes están relacionadas con las anteriores.

Tabla III.13.- Variables que afectan el costo de compresores recíprocos.

SERVICIO
NO. DE ETAPAS.
VELOCIDAD
DESPLAZAMIENTO
PRESION DE DESCARGA
POTENCIA DEL MOTOR

La variación del costo con respecto a las variables indicadas en la tabla III.13 depende en gran medida del tipo de equipo considerado. Los compresores recíprocos para el manejo de aire, generalmente se diseñan en una línea de modelos estándar, en la cual la variable más importante relacionada con el costo, la constituye la potencia del motor que mueve el compresor.

Los compresores para manejo de refrigerantes a diferencia de los primeros, el mismo compresor puede ser impulsado por motores de diferente potencia.

La tabla III.5.14 presenta los modelos de compresores para refrigeración, así como su correspondiente rango de potencia de motor en el cual opera satisfactoriamente.

Tabla III.5.14.- Modelos de compresor y rangos de potencias.

MODELO	RANGO DE POTENCIA	
	HP	
2A	10 A	15
4A	15 A	30
6A	30 A	50
8A	50 A	75
4B	75 A	100
6B	100 A	150
8B	150 A	200

FUENTE: MAYEKAWA DE MEXICO, S.A.

III.5.3 DESARROLLO DEL MODELO.

a).- COMPRESORES RECIPROCANTES PARA MANEJO DE AIRE.

Como se menciono anteriormente la variable más importante que afecta el costo del compresor, es la potencia del motor, así la ecuación III.15 que se propone resulta de un análisis estadístico que correlaciona el costo del compresor en pesos al 31 de marzo de 1990 con la potencia del motor.

$$\text{COSTO DEL COMPRESOR} = \text{EXP}(A + B * \text{LN}(\text{HP})) \quad (\text{III.15})$$

DONDE :

A : ES UNA CONSTANTE = 15.55565
 B : ES UNA CONSTANTE = 0.519003
 HP : ES LA POTENCIA EN HP DEL MOTOR

Para el desarrollo de la ecuación, se utilizaron los datos presentados en la tabla III.15, en donde además se presentan otras características del compresor y los resultados de la ecuación, en donde se observa que dicha ecuación es aplicable en un rango de 1.5 a 30 HP.

Tabla III.15.- Datos y resultados de compresores para aire reciprocantes al 31 de marzo de 1990.

MODELO	DESPLAZA- MIENTO FCM	POTENCIA HP	COSTO REAL \$	ESTIMADO \$	VARIACION %
1C	6.50	1.5	7'645,680	7'032,151	-8.02
2C	9.00	2.0	8'059,453	8'164,540	1.30
3C	11.50	3.0	9'367,088	10'076,821	7.58
5E	20.00	5.0	13'877,178	13'136,014	-5.34
7E	26.50	7.5	15'386,532	16'212,703	5.37
10E	45.00	10.0	18'886,305	18'823,439	-0.33
15E	63.20	15.0	20'374,055	23'232,224	14.03
20E	98.50	20.0	27'876,260	26'973,315	-3.24
25E	113.20	25.0	30'419,483	30'285,229	-0.44
30E	131.90	30.0	36'438,838	33'290,946	-8.64

FUENTE: CIA. MYER'S ZULUETA DE MEXICO S.A. DE C.V.

SOPORTE DEL MODELO

Del mismo análisis estadístico realizado para encontrar las constantes de la ecuación, se determinaron los parámetros que soportan la relación existentes entre la variable dependiente con la variable independiente y cuyos valores se muestran a continuación.

COEFICIENTE DE REGRESION	R = 0.9920
NO. DE DATOS	= 10
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION	= 5.43 %

Además de estos parámetros en la tabla III.15 se realiza una comparación de los valores reales y estimados, así como la variación en porcentaje.

b).- COMPRESORES RECIPROCANTES PARA REFRIGERACION.

De acuerdo a las características que presentan estos equipos, el costo se determinará en dos etapas:

En la primera etapa, estima el costo del compresor de acuerdo a las condiciones de operación. La ecuación III.16 correlaciona la potencia al freno (BHP) con el costo del compresor en pesos al 31 de diciembre de 1989.

$$\text{COSTO DEL COMPRESOR} = \text{EXP}(A + B * \text{LN}(BHP)) \quad (\text{III.16})$$

DONDE :

A : ES UNA CONSTANTE = 15.638165
 B : ES UNA CONSTANTE = 0.429364
 BHP : ES LA POTENCIA AL FRENO DEL COMPRESOR.

La tabla III.16 presenta una muestra de datos, resultados y comparaciones de los valores reales con respecto los valores estimados. Las condiciones de operación utilizadas se realizaron bajo las siguientes condiciones; la temperatura de condensación igual 35 °C y 1000 RPM.

Tabla III.16.- Datos y resultados de compresores recíprocos para refrigeración.

MODELO	TEMPER.	POTENCIA AL FRENO BHP	COSTO		VARIACION %
	SUCCION 'C		REAL \$	ESTIMADO \$	
N-2A	-30	8.7	17'116,112	15'666,231	-8.47
N-4A	-25	19.8	23'390,376	22'300,270	-4.66
N-6A	-20	33.1	29'574,092	27'805,339	-5.98
N-8A	-15	48.6	34'467,193	32'790,623	-4.86
N-4B	-10	64.3	36'122,297	36'978,515	2.73
N-6B	-5	101.4	42'325,497	44'966,517	6.24
N-8B	0	139.1	47'515,463	51'503,445	8.39
F-2A	-25	11.0	17'639,922	17'326,279	-1.78
F-4A	-20	24.3	24'073,508	24'349,959	1.15
F-6A	-15	38.1	30'394,766	29'536,637	-2.82
F-8A	-10	53.6	35'439,165	34'198,722	-3.50
F-4B	-5	75.0	37'257,029	39'505,046	6.03
F-6B	0	113.2	43'575,995	47'142,921	8.19
F-8B	5	152.1	48'919,550	53'517,583	9.40

FUENTE: MAYEKAWA DE MEXICO, S.A.

NOTA: Cabe aclarar que los modelos que empiezan con la letra N manejan amoníaco, mientras que los de la letra F manejan freones del 12 al 22.

SOPORTE DEL MODELO

La tabla III.16 presenta una comparación de los valores reales y estimados para los compresores recíprocos para refrigeración. A continuación se presentan los parámetros estadísticos de la ecuación.

COEFICIENTE DE REGRESION	R = 0.9665
NO. DE DATOS	= 112
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION	= 6.93 %

La segunda etapa tiene como objetivo determinar el costo del motor del compresor. La ecuación III.17 correlaciona el costo del motor en pesos al 31 de diciembre de 1989 con la potencia de este.

$$\text{COSTO} \\ \text{DEL MOTOR} = A + B (\text{HP}) + C (\text{HP}^2) \quad (\text{III.17})$$

DONDE:

- A : ES UNA CONSTANTE
- B : ES UNA CONSTANTE
- C : ES UNA CONSTANTE
- HP : ES LA POTENCIA DEL MOTOR EN HP

La tabla III.17 presenta los valores de las constantes de acuerdo al modelo propuesto para motores.

Tabla III.17 Datos del análisis estadístico para motores.

	A	B	C
modelo 1	637,931.6582	238,793.9746	-233.3847
modelo 2	679,619.5955	197,561.8778	460.3442
modelo 3	626,805.2902	423,214.1689	-2,629.5585
modelo 4	1'274,997.0885	244,291.2046	253.8851
modelo 5	1'199,843.8986	247,458.7872	205.5916
modelo 6	1'505,993.8401	463,462.1840	-2,491.2773

Todos los modelos propuestos se desarrollaron para motores totalmente cerrados, del 1 al 3 se utilizaron datos de motores ASEA, mientras que los restantes para motores IEM.

Los modelos 1 y 4 representan motores de dos polos, el 2 y 5 para cuatro polos y por último el 3 y el 6 para 6 polos.

SOPORTES DEL MODELO.

Los modelos anteriores están soportados mediante los parámetros reportados en la tabla III.18.

Los datos de costos y características de los motores utilizados en el ajuste se localizan en el apéndice de este trabajo.

Tabla III.18 Parámetros estadísticos de los modelos anteriores.

	R	NO. DATOS	ERROR GLOBAL (%) DE LA ECUACION
modelo 1	0.99531	16	6.85
modelo 2	0.99682	18	7.08
modelo 3	0.99523	14	11.64
modelo 4	0.99661	17	6.99
modelo 5	0.99725	17	6.44
modelo 6	0.99330	14	7.63

DONDE:

R : ES EL COEFICIENTE DE REGRESION.

La tabla presenta también el número de datos utilizados para cada modelo además de los errores globales de la ecuación para cada uno de los modelos en base a los costos reales y costos estimados de los motores.

Para obtener el costo de compresores refrigerantes se suma los costos del compresor y del motor, considerando las características de este último para seleccionar adecuadamente el modelo.

III.6 BOMBAS

En la industria en general el uso de las bombas es de lo más común, ocasionado por la necesidad de manejar diferentes líquidos a las áreas de requerimiento.

El costo de estos equipos es función de las características de diseño de la bomba y el motor, los que a su vez están determinados por las condiciones y características del fluido a manejar.

III.6.1 TIPOS DE BOMBAS

Considerando el medio por el cual se produce el flujo del fluido se clasifican a estos equipos de la siguiente manera:

BOMBAS CENTRIFUGAS. Utilizan la fuerza centrífuga para producir energía cinética que a su vez es convertida a energía de presión por la disminución de la velocidad del fluido. La bomba presenta las siguientes características .

- 1.- La descarga está relativamente exenta de pulsaciones.
- 2.- Puede manejar gastos elevados.
- 3.- La presión de descarga es función de la densidad del fluido

BOMBAS TIPO TURBINA

Son equipos que combinan dos medios de flujo de fluido, a través de una fuerza centrífuga y un impulso mecánico (flujo axial).

BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Dentro de este tipo, las bombas de movimiento alternativo (pistón, embolo y diafragma), rotatorias (engranes y de gusano) y bombas de desplazamiento por fluido son las más importantes. Estas se caracterizan por la descarga de un fluido, mediante el desplazamiento parcial o completo de su volumen interno con un segundo fluido o por medio mecánico. Las características de estos equipos son las siguientes.

- 1.- Buen funcionamiento a presiones elevadas.
- 2.- Descarga con pulsaciones
- 3.- Limite en gastos

BOMBAS DE CHORRO

Las bombas de chorro utilizan a otro fluido en movimiento para producir el flujo del segundo.

BOMBAS ELECTROMAGNETICAS

Las bombas electromagnéticas utilizan como medio de movimiento un campo electromagnético en torno al ducto del fluido.

III.6.2 CASO DE ESTUDIO. (CENTRIFUGAS)

La bomba centrífuga es el tipo que se utiliza más en la industria química para el manejo líquidos, tales como materias primas, productos intermedios, subproductos y productos finales, así como los servicios auxiliares. En base a lo anterior se selecciona la bomba centrífuga para el desarrollo del modelo, en el cual se analiza la relación existente entre las características físicas de la bomba y su correspondiente costo.

Los modelos se desarrollaron con valores en pesos al 31 de diciembre de 1989.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO.

Las variables de diseño tales como la presión de succión, presión de descarga, temperatura, viscosidad, presión de vapor, densidad relativa y gasto, son las variables que determinan el tipo de bomba a utilizar. Sin embargo, los datos necesarios para cotizar una bomba son las características físicas y materiales de construcción de la bomba, así como de las características del motor. Bajo esta consideración la tabla III.19 muestra las características principales de la bomba y el motor. Estas características están íntimamente relacionadas con las variables de diseño mencionadas anteriormente.

TABLA III.19 Características a considerar en el desarrollo del modelo.

TIPOS DE BOMBAS
MATERIALES DE CONSTRUCCION
DIAMETRO DE SUCCION
DIAMETRO DE DESCARGA
TIPO DE MOTOR
POTENCIA DEL MOTOR
RPM DEL MOTOR

III.6.3 DESARROLLO DEL MODELO.

Los siguientes modelos fueron desarrollados para bombas centrífugas y tres tipos de materiales, hierro, acero al carbón y acero inoxidable 316, con motor totalmente cerrado.

BOMBAS CENTRIFUGAS CONSTRUIDAS EN HIERRO.

La tabla III.20 muestra los datos que se correlacionan para obtener el modelo a través de un análisis multivariable.

Tabla III.20 Datos de las bombas utilizados para la correlación, costos reales, costos estimados y variación.

DIAMETRO		POTENCIA	RPM	COSTO REAL	COSTO ESTIM.	VAR.
SUCC	DESC	HP		\$	\$	%
IN	IN					
2.0	1.5	0.25	1.610	1'871,021	1'828,629	2.27
1.5	1.0	0.75	1.710	1'887,946	1'818,385	3.68
2.0	1.5	0.50	1.635	1'909,631	1'887,301	1.17
1.5	1.0	1.00	1.725	1'952,186	1'876,782	3.86
1.5	1.0	1.00	3.325	2'026,766	1'920,762	5.23
2.0	1.5	0.75	1.710	2'038,551	1'947,347	4.47
2.5	2.0	0.50	1.635	2'060,234	2'016,263	2.13
1.5	1.0	1.50	1.715	2'071,976	1'992,476	3.84
2.5	2.0	0.50	3.410	2'097,964	2'065,054	1.57
1.5	1.0	1.50	3.500	2'102,666	2'041,541	2.91
2.0	1.5	1.00	1.725	2'102,791	2'005,744	4.62
1.5	1.0	2.00	1.685	2'185,826	2'107,620	3.58
2.5	2.0	0.75	1.710	2'189,154	2'076,309	5.15
2.5	2.0	1.00	1.725	2'253,394	2'134,706	5.27
3.0	2.5	0.75	1.710	2'289,555	2'205,271	3.68
2.5	2.0	0.75	3.400	2'313,454	2'122,764	8.24
1.5	1.0	3.00	1.730	2'320,026	2'340,794	-0.90
2.5	2.0	1.00	3.325	2'327,974	2'178,686	6.41
3.0	2.5	1.00	1.725	2'353,795	2'263,668	3.83
1.5	1.0	3.00	3.460	2'389,876	2'388,348	0.06
3.0	2.5	0.75	3.400	2'413,855	2'251,726	6.72
3.0	2.5	1.00	3.325	2'428,375	2'307,649	4.97
2.0	1.5	3.00	1.730	2'470,631	2'469,757	0.04
3.0	2.5	1.50	1.715	2'473,585	2'379,362	3.81
3.0	2.5	1.50	3.500	2'504,275	2'428,428	3.03
2.0	1.5	3.00	3.460	2'540,481	2'517,311	0.91
1.5	1.0	5.00	1.715	2'545,306	2'804,257	-10.17
1.5	1.0	5.00	3.500	2'611,526	2'853,232	-9.26
2.5	2.0	3.00	1.730	2'621,234	2'598,719	0.86
2.5	2.0	3.00	3.460	2'691,084	2'646,273	1.67
2.0	1.5	5.00	1.715	2'695,911	2'933,220	-8.80
2.0	1.5	5.00	3.500	2'762,131	2'982,285	-7.97
2.5	2.0	5.00	1.715	2'846,514	3'062,182	-7.58
2.5	2.0	5.00	3.500	2'912,734	3'111,248	-6.82

FUENTE: FACTURAS, COTIZACIONES POR ESCRITO, COTIZACIONES, TELEFONICAS, INVESTIGACION DIRECTA Y CATALOGOS DIVERSOS.

Tabla III.20 Datos de las bombas utilizados para la correlación, costos reales, costos estimados y variación (continuación).

DIAMETRO		POTENCIA	RPM	COSTO REAL	COSTO ESTIM.	VAR.
SUCC	DESC	HP		\$	\$	%
IN	IN					
3.0	2.5	5.00	1,715	2'946,915	3'191,144	-8.29
3.0	2.5	5.00	3,500	3'013,135	3'240,210	-7.54
1.5	1.0	7.50	1,745	3'217,076	3'384,926	-5.22
1.5	1.0	7.50	3,510	3'262,946	3'433,442	-5.23
2.0	1.5	7.50	1,745	3'367,681	3'513,888	-4.34
2.0	1.5	7.50	3,510	3'413,551	3'562,405	-4.36
2.5	2.0	7.50	1,745	3'518,284	3'642,851	-3.54
2.5	2.0	7.50	3,510	3'564,154	3'691,367	-3.57
3.0	2.5	7.50	1,745	3'618,685	3'771,813	-4.23
3.0	2.5	7.50	3,510	3'664,555	3'820,329	-4.25
2.5	2.0	10.00	1,735	4'039,904	4'222,420	-4.52
3.0	2.5	10.00	1,735	4'140,305	4'351,382	-5.10
2.5	2.0	10.00	3,500	4'334,264	4'270,936	1.46
3.0	2.5	10.00	3,500	4'434,665	4'399,898	0.78
2.5	2.0	15.00	1,740	5'276,084	5'382,246	-2.01
3.0	2.5	15.00	1,740	5'376,485	5'511,208	-2.51
2.5	2.0	15.00	3,515	5'688,364	5'431,037	4.52
3.0	2.5	15.00	3,515	5'788,765	5'559,999	3.95
2.0	1.5	15.00	1,750	6'271,000	5'253,558	16.22
2.5	1.5	18.00	1,750	6'898,100	6'898,100	0.00

FUENTE: FACTURAS, COTIZACIONES POR ESCRITO, COTIZACIONES, TELEFONICAS, INVESTIGACION DIRECTA Y CATALOGOS DIVERSOS.

La aplicación del modelo multivariable presenta una mayor aproximación al costo del equipo, dando como resultado la ecuación III.18.

$$C=A + B*DSUCC + C*DDESC + D*HP + E*RPM \quad (III.18)$$

DONDE:

C	: COSTO DE LA BOMBA EN PESOS AL 31/12/89
A	: CONSTANTE = 390,774.5348
B	: COEFICIENTE DE SUCCION = 1'897,456.9707
C	: COEFICIENTE DE DESCARGA = -1'639,532.6847
D	: COEFICIENTE DE POTENCIA = 231,937.6821
E	: COEFICIENTE DE RPM. = 27.4879
DSUCC	: DIAMETRO NOMINAL DE SUCCION DE LA BOMBA.
DDESC	: DIAMETRO NOMINAL DE DESCARGA DE LA BOMBA.
HP	: POTENCIA DEL MOTOR EN HP.
RPM	: REVOLUCIONES POR MINUTO DEL MOTOR

SOPORTES DEL MODELO

La ecuación resultante presenta los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION R = 0.9864
 NUMERO DE DATOS N = 54
 ERROR GLOBAL DE LA ECUACION = 4.39%

BOMBAS CENTRIFUGAS CONSTRUIDAS EN ACERO AL CARBON.

En la tabla III.21 se presentan los datos correlacionados para la obtención del modelo, a través de un análisis multivariable.

Tabla III.21 Datos de las bombas utilizadas en la obtención del modelo, costos reales, costos estimados y variación.

DIAMETRO		POTENCIA	RPM	COSTO REAL	COSTO ESTIM.	VAR.
SUCC	DESC	HP		\$	\$	%
IN	IN					
1.5	1.0	3.00	1,750	5'935,460	6'365,703	-7.25
1.5	1.0	3.00	1,750	5'935,460	6'365,703	-7.25
4.0	3.0	10.00	3,500	7'132,864	8'034,743	-12.64
3.0	2.0	10.00	3,500	7'228,614	6'792,430	6.03
2.0	2.0	3.00	1,750	8'012,946	7'997,624	0.19
2.0	2.0	3.00	1,750	8'012,946	7'997,624	0.19
3.0	2.0	15.00	3,500	8'025,129	8'266,915	-3.01
3.0	1.5	15.00	3,500	8'208,212	7'256,151	11.60
2.0	2.0	3.00	1,750	8'711,216	7'997,624	8.19
4.0	4.0	3.00	1,150	11'413,849	11'336,052	0.68
3.0	1.5	60.00	3,600	19'891,469	20'384,214	-2.48
1.5	1.0	60.00	3,600	20'048,488	20'542,274	-2.46
1.5	1.0	75.00	3,600	25'050,488	24'965,729	0.34
1.5	1.0	75.00	3,600	25'050,488	24'965,729	0.34
3.0	2.0	75.00	3,600	26'638,128	25'818,433	3.08
4.0	3.0	100.00	3,600	34'224,361	34'433,170	-0.61

FUENTE: FACTURAS, COTIZACIONES POR ESCRITO, COTIZACIONES TELEFONICAS, INVESTIGACION DIRECTA Y CATALOGOS DIVERSOS.

La aplicación de un modelo multivariable presenta una mayor aproximación al costo del equipo, dando como resultado la ecuación III.19.

$$C=A + B^{\wedge}DSUCC + C^{\wedge}DESC + D^{\wedge}HP + E^{\wedge}RPM \quad (III.19)$$

Donde:

C : COSTO DE LA BOMBA EN PESOS AL 31/12/89
 A : CONSTANTE = 7'118,563.8380
 B : COEFICIENTE DE SUCCION = -779,215.8685
 C : COEFICIENTE DE DESCARGA = 2'021,528.6521
 D : COEFICIENTE DE POTENCIA = 294,896.9686
 E : COEFICIENTE DE RPM. = -1,423.0036
 DSUCC: DIAMETRO NOMINAL DE SUCCION DE LA BOMBA.
 DESC: DIAMETRO NOMINAL DE DESCARGA DE LA BOMBA.
 HP : POTENCIA DEL MOTOR EN HP.
 RPM : REVOLUCIONES POR MINUTO DEL MOTOR

SOPORTES DEL MODELO

La ecuación resultante presenta los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION	R = 0.9984098
NUMERO DE DATOS	N = 16
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION	= 4.15%

En la tabla III.21 se muestra una comparación de valores reales y estimados, para bombas centrifugas construidas en acero al carbón.

BOMBAS CENTRIFUGAS CONSTRUIDAS EN ACERO INOXIDABLE 316.

En la Tabla III.22 presenta los datos correlacionados para la obtención del modelo, a través de un análisis multivariable.

Tabla III.22 Datos de las bombas utilizadas en la obtención del modelo, costos reales, costos estimados y variación.

DIAMETRO		POTENCIA	RPM	COSTO REAL	COSTO ESTIM.	VAR.
SUCC	DESC	HP		\$	\$	%
IN	IN					
1.5	1.5	0.75	3,500	1'473,300	1'481,406	-0.55
1.5	1.5	0.75	3,500	1'473,300	1'481,406	-0.55
1.5	1.5	2.00	3,500	1'748,316	1'713,512	1.99
1.5	1.5	1.00	3,500	1'846,536	1'546,019	16.27
1.5	1.5	1.00	3,500	1'846,536	1'546,019	16.27
1.5	1.0	1.00	1,725	3'908,429	3'734,496	4.45
1.5	1.0	1.00	3,325	3'983,009	3'554,000	10.77
1.5	1.0	1.50	1,715	4'028,219	3'967,840	1.50
1.5	1.0	1.50	3,500	4'058,909	3'759,823	7.37
2.0	1.5	0.25	1,610	4'088,831	3'411,430	16.57
2.0	1.5	0.50	1,635	4'133,441	3'776,622	8.63
1.5	1.0	2.00	1,685	4'142,069	4'146,421	-0.11
2.0	1.5	0.75	1,710	4'262,361	3'997,281	6.22
1.5	1.0	3.00	1,730	4'276,269	4'394,818	-2.77
2.0	1.5	1.00	1,725	4'326,601	4'168,877	3.65
1.5	1.0	3.00	3,460	4'346,119	4'170,772	4.03
2.5	2.0	0.50	1,635	4'440,397	4'344,820	2.15
2.5	2.0	0.50	3,410	4'478,127	4'110,295	8.21
1.5	1.0	5.00	1,715	4'501,549	4'744,040	-5.39
1.5	1.0	5.00	3,500	4'567,769	4'495,330	1.59
2.5	2.0	0.75	1,710	4'569,317	4'590,678	-0.64
2.5	2.0	1.00	1,725	4'633,557	4'796,090	-3.51
2.5	2.0	0.75	3,400	4'693,617	4'366,172	6.98
2.0	1.5	3.00	1,730	4'694,441	4'906,005	-4.51
2.5	2.0	1.00	3,325	4'708,137	4'564,285	3.06
3.0	2.5	0.75	1,710	4'756,571	5'283,663	-11.08
2.0	1.5	3.00	3,460	4'764,291	4'655,899	2.28
3.0	2.5	1.00	1,725	4'820,811	5'510,480	-14.31
3.0	2.5	0.75	3,400	4'880,871	5'016,525	-2.78
3.0	2.5	1.00	3,325	4'895,391	5'244,148	-7.12
2.0	1.5	5.00	1,715	4'919,721	5'295,847	-7.65
3.0	2.5	1.50	1,715	4'940,601	5'854,794	-18.50
3.0	2.5	1.50	3,500	4'971,291	5'547,852	-11.60
2.0	1.5	5.00	3,500	4'985,941	5'018,208	-0.65
2.5	2.0	3.00	1,730	5'001,397	5'644,121	-12.85
2.5	2.0	3.00	3,460	5'071,247	5'356,386	-5.62
1.5	1.0	7.50	1,745	5'173,319	5'031,661	2.74
1.5	1.0	7.50	3,510	5'219,189	4'773,090	8.55

FUENTE: FACTURAS, COTIZACIONES POR ESCRITO, COTIZACIONES, TELEFONICAS, INVESTIGACION DIRECTA Y CATALOGOS DIVERSOS.

Tabla III.22 Datos de las bombas utilizadas en la obtención del modelo, costos reales, costos estimados y variación (continuación).

DIAMETRO		POTENCIA	RPM	COSTO REAL	COSTO ESTIM.	VAR.
SUCC	DESC	HP		\$	\$	%
IN	IN					
2.5	2.0	5.00	1,715	5'226,677	6'092,614	-16.57
2.5	2.0	5.00	3,500	5'292,897	5'773,204	-9.07
3.0	2.5	5.00	1,715	5'413,931	7'000,125	-29.30
3.0	2.5	5.00	3,500	5'480,151	6'633,138	-21.04
2.0	1.5	7.50	1,745	5'591,491	5'616,923	-0.45
2.0	1.5	7.50	3,510	5'637,361	5'328,276	5.48
2.5	2.0	7.50	1,745	5'898,447	6'461,997	-9.55
2.5	2.0	7.50	3,510	5'944,317	6'129,922	-3.12
3.0	2.5	7.50	1,745	6'085,701	7'424,529	-22.00
3.0	2.5	7.50	3,510	6'131,571	7'042,990	-14.86
2.5	2.0	10.00	1,735	6'420,067	6'746,769	-5.09
3.0	2.5	10.00	1,735	6'607,321	7'751,718	-17.32
2.5	2.0	10.00	3,500	6'714,427	6'398,662	4.70
3.0	2.5	10.00	3,500	6'901,681	7'351,760	-6.52
2.5	2.0	15.00	1,740	7'656,247	7'163,629	6.43
3.0	2.5	15.00	1,740	7'843,501	8'230,670	-4.94
2.5	2.0	15.00	3,515	8'068,527	6'793,296	15.80
3.0	2.5	15.00	3,515	8'255,781	7'805,176	5.46
2.0	1.0	0.75	1,750	9'323,975	9'137,504	2.00
2.0	1.0	1.50	1'750	9'549,125	10'127,444	-6.06
2.0	1.0	1.50	3,500	9'570,850	9'611,151	-0.42
2.0	1.0	5.00	3,500	10'212,725	11'491,310	-12.52
3.0	2.0	15.00	3,500	10'267,368	12'318,182	-19.97
3.0	2.0	15.00	3,500	10'267,368	12'318,182	-19.97
3.0	2.0	15.00	3,500	11'198,565	12'318,182	-10.00
3.0	2.0	15.00	3,500	14'541,925	12'318,182	15.29
4.0	3.0	3.00	1,150	15'604,475	11'778,691	24.52
4.0	3.0	10.00	1,750	16'054,775	13'643,523	15.02
3.0	2.0	25.00	1,750	17'188,425	14'002,094	18.54
4.0	3.0	25.00	3,500	20'020,575	14'833,909	25.91
6.0	4.0	40.00	1,750	27'462,375	34'951,451	-27.27
8.0	6.0	50.00	1,180	47'238,050	41'548,361	12.04
8.0	6.0	50.00	1,180	49'321,675	41'548,361	15.76
10.0	8.0	50.00	1,750	64'086,775	54'614,210	14.78

FUENTE: FACTURAS, COTIZACIONES POR ESCRITO, COTIZACIONES, TELEFONICAS, INVESTIGACION DIRECTA Y CATALOGOS DIVERSOS.

La aplicación de un modelo multivariable presenta una mayor aproximación al costo del equipo, dando como resultado la ecuación III.20.

$$C = A + B \cdot DSUCC + C \cdot DDESC + D \cdot HP + E \cdot RPM \quad (III.20)$$

Donde:

C : COSTO DE LA BOMBA EN PESOS AL 31/12/89
 A : CONSTANTE = 14.372926477
 B : COEFICIENTE DE LN SUCCION = 3.262462803
 C : COEFICIENTE DE LN DESCARGA = -2.043377580
 D : COEFICIENTE DE LN POTENCIA = 0.148398000
 E : COEFICIENTE DE LN RPM. = -0.07548896
 DSUCC: LN DIAMETRO NOMINAL DE SUCCION DE LA BOMBA.
 DDESC: LN DIAMETRO NOMINAL DE DESCARGA DE LA BOMBA.
 HP : LN POTENCIA DEL MOTOR EN HP.
 RPM : LN REVOLUCIONES POR MINUTO DEL MOTOR

SOPORTES DEL MODELO

La ecuación resultante presenta los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION	R	=	0.985202924
NUMERO DE DATOS	N	=	72
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION		=	9.46%

La tabla III.22 muestra una comparación de valores reales y estimados, para bombas centrifugas construidas en acero inoxidable 316.

IV MODELOS PARA ESTIMAR COSTOS DE EQUIPOS DE SERVICIO AUXILIARES EN PLANTAS DE PROCESO.

Los modelos presentados en los siguientes capitulos son el resultado de una serie de pruebas realizadas con los datos de cada uno de los equipos, que cumple con una relación causal y estadística con el costo.

El procedimiento utilizado para la obtención de los modelos se basa en datos reales de costos de equipos, ajustandolos a una función de acuerdo a las características principales del mismo.

IV.1 CALDERAS.

Las calderas son equipos tubulares calentados directamente, que utilizan la energía del combustible para vaporizar un líquido. En la industria química, las calderas son utilizadas generalmente para producir vapor, el cual es suministrado como servicio para calentar las corrientes de proceso a las condiciones requeridas.

IV.1.1 TIPOS DE CALDERAS

Las calderas se clasifican básicamente en tres tipos de acuerdo a la capacidad en caballos caldera.

TIPO MONITOR.- Se fabrica en tamaños de 20 a 60 caballos caldera, para utilizar diesel y gas como combustible.

TIPO CBH .- Se fabrica en tamaños de 60 a 100 caballos caldera y al igual que el tipo monitor utilizan solamente diesel o gas o combinación de ambos.

TIPO CB .- Se fabrica en tamaños de 60 a 800 caballos caldera, para utilizar diesel, petróleo pesado, gas, o una combinación de los anteriores. Este modelo CB se fabrica para vapor de alta presión, para vapor de baja presión o para agua caliente.

ESPECIFICACIONES GENERALES La caldera modelo CB es del tipo de tubos de humo, horizontal, de cuatro pasos en los gases de combustión y con 5 pies cuadrados de superficie de calefacción por caballo caldera de capacidad. La caldera está montada sobre una base de acero estructural e incluye como parte integral, un quemador con ventilador de tiro forzado, controles de operación, accesorios, soportes y material refractario.

ESPECIFICACIONES DE CALDERAS. La caldera propiamente se construye de acuerdo al código A.S.M.E. para calderas y recipientes a presión.

ACCESORIOS PARA CALDERAS DE VAPOR.- Las siguientes partes son equipo estandar en las calderas de vapor:

a) COLUMNA DE AGUA.- Esta se localiza a mano derecha de la caldera vista desde el frente y contiene los siguientes accesorios: grifos de prueba, cristal de nivel, válvula de purga para el cristal de nivel y válvula de purga para la columna de agua.

b).-CONTROL DE ALIMENTACION DE AGUA.- El control de la bomba de alimentación de agua es parte integral de la columna de agua. Actua automáticamente sobre una bomba impulsada por motor electrico para mantener el nivel de agua dentro de la caldera dentro de los limites normales

IV.1.2 CASO DE ESTUDIO. (TIPO CB)

La caldera tipo CB, presenta las siguientes características: un amplio rango de capacidad en caballos caldera (HP) que va desde 60 hasta 800 CC, presenta un flujo de vapor desde 941 hasta 10964 Kg/Hr y se fabrican equipos para los siguientes combustibles: diesel, diesel-gas, petróleo pesado, gas y petróleo pesado-gas.

Los modelos presentados en este capitulo se desarrollaron con valores en pesos al 31 de diciembre de 1989.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO.

Las principales variables de diseño que afectan el costo de las calderas tipo CB se muestran en la tabla IV.1

TABLA IV.1 Variables de diseño de calderas

LONGITUD DE LA CALDERA
DIAMETRO DE LA CALDERA
DIAMETRO DE LA CHIMENEA
CAPACIDAD EN KG/HR
CONSUMO DE COMBUSTIBLE
POTENCIA DEL VENTILADOR
BOMBA DE COMBUSTIBLE
POTENCIA DEL CALENTADOR ELECTRICO
AREA DE CALEFACCION
CABALLOS CALDERA
TIPO DE COMBUSTIBLE

Una vez seleccionado el tipo de caldera, de las variables mostradas en la tabla IV.1 se selecciona el tipo de combustible que utilizara esta, teniendo estas dos variables fijas, el costo de la caldera queda en función de las restantes variables. Sin embargo el costo de la caldera es determinado principalmente por la capacidad de la misma, esto se debe a que la mayoría de las otras variables son función de la capacidad. Por ejemplo el área de calefacción esta determinada por la longitud, número y diámetro de los tubos, esta área de calefacción tendrá como se mencionó anteriormente 1 caballo caldera por cada 5 pies cuadrados de superficie.

IV.1.3 DESARROLLO DEL MODELO

Con el tipo de caldera fijo, un análisis estadístico de las dos variables restantes, arroja cinco modelos que correlacionan el costo del equipo con la capacidad de la caldera para cinco combinaciones de combustible.

Los modelos desarrollados para los diferentes tipos de combustible se presentan de la siguiente manera: tipo CB-N

Donde

CB : Indica el tipo de caldera CB

N : es un número que representa el tipo de combustible

MODELO 1.- En la tabla TABLA IV.2 se muestran los datos correlacionados, para obtener el costo de una caldera tipo CB-100 que utiliza diesel como combustible.

Tabla IV.2 Datos correlacionados, valores estimados y variación del costo para calderas tipo CB-100

CC	COSTO REAL	COSTO ESTIMADO	VARIACION
60	78'326,390	72'029,038	8.04
80	85'979,487	86'433,991	-0.53
100	95'264,997	99'563,232	-4.51
125	112'183,479	114'686,791	-2.23
150	125'318,324	128'733,813	-2.73
200	143'051,453	154'479,050	-7.99
250	176'824,190	177'944,269	-0.63
300	207'946,387	199'739,169	3.95
350	223'910,737	220'236,438	1.64
400	247'423,378	239'684,634	3.13
500	280'130,759	276'092,500	1.44
600	313'495,761	309'908,753	1.14
700	345'142,534	341'711,645	0.99
800	362'018,443	371'886,829	-2.73

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC.

La aplicación de un modelo potencial presenta una mayor aproximación al costo real del equipo, dando como resultado la ecuación IV.1

$$\text{COSTO DE LA CALDERA} = \text{EXP}(A + B * \text{LN}(\text{CC})) \quad (\text{IV.1})$$

DONDE:

- A : ES UNA CONSTANTE CON VALOR = 15.4978863
 B : ES COEFICIENTE DE LN DE CC = 0.63372623
 LN(CC) : ES EL LOGARITMO NATURAL DE CABALLOS CALDERA

SOPORTES DEL MODELO

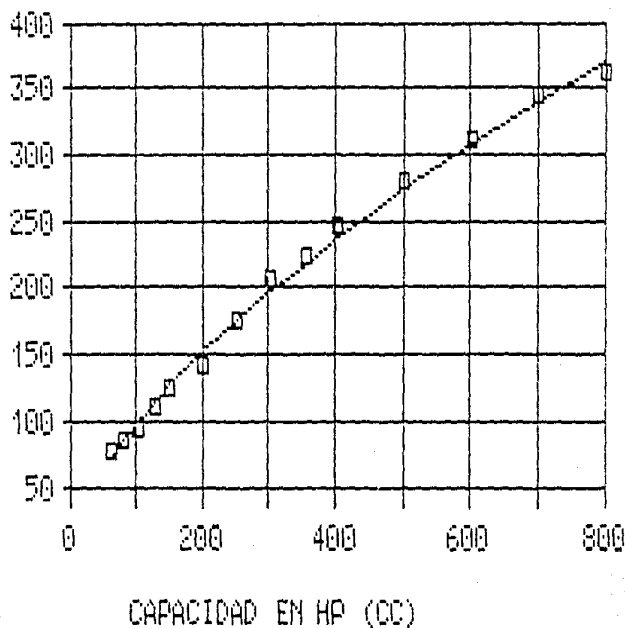
La ecuación resultante presenta los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION	R	= 0.997210
NUMERO DE DATOS	N	= 14
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION		= 2.98%

En la tabla IV.2 Se muestra una comparación de valores reales y estimados para calderas tipo CB-100 en un rango de 60 a 800 CC.

La figura IV.1 muestra el comportamiento del costo del equipo así como el ajuste del modelo.

Figura IV.1.- Costos de calderas que utilizan diesel

COSTO DE CALDERAS: PESOS M.N.
(Millones)CALDERAS QUE UTILIZAN DIESEL
VALORES AL 31-DIC-1989

□ valores reales

MODELO 2.-La tabla IV.3 muestra los datos que se correlacionaron para obtener el costo de una caldera tipo CB-200 que utiliza diesel-gas como combustible.

Tabla IV.3 Datos correlacionados, valores estimados y variación del costo para calderas tipo CB-200

CC	COSTO REAL	COSTO ESTIMADO	VARIACION
60	84'353,171	77'233,300	8.44
80	93'995,460	92'966,918	1.09
100	102'097,339	107'346,422	-5.14
125	121'804,514	123,950,052	-1.76
150	134'767,493	139'405,385	-3.44
200	151'015,145	167'804,417	-11.12
250	191'392,515	193'759,287	-1.24
300	226'248,689	217'919,133	3.68
350	243'553,900	240'681,666	1.18
400	275'132,374	262'312,629	4.66
500	311'729,985	302'885,402	2.84
600	346'221,217	340'652,183	1.61
700	382'275,882	376'234,678	1.58
800	394'734,425	410'048,299	-3.88

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC.

La aplicación de un modelo potencial presenta una mayor aproximación al costo real del equipo, dando como resultado la ecuación IV.2.

$$\text{COSTO DE LA CALDERA} = \text{EXP}(A + B \cdot \text{LN}(\text{CC})) \quad (\text{IV.2})$$

DONDE:

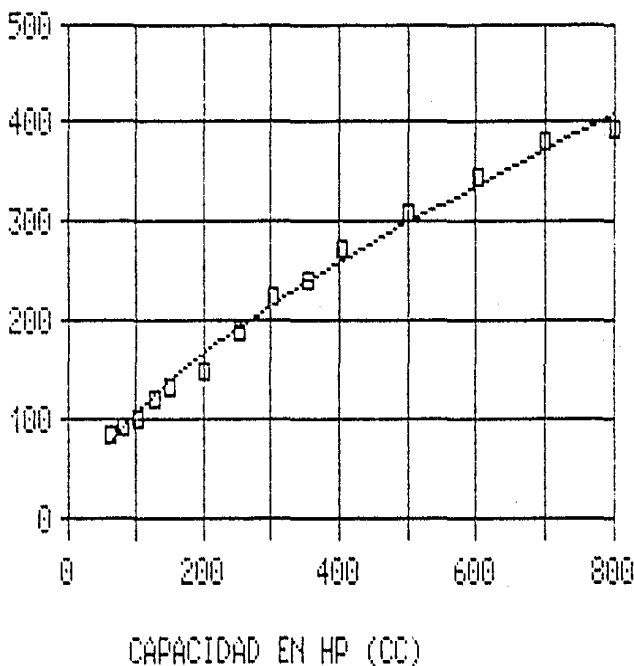
- A : ES UNA CONSTANTE CON VALOR = 15.52350926
 B : ES COEFICIENTE DE LN DE CC = 0.64450658
 LN(CC) : ES EL LOGARITMO NATURAL DE CABALLOS CALDERA

SOPORTES DEL MODELO

La ecuación resultante presenta los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION	R	= 0.996041
NUMERO DE DATOS	N	=14
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION		= 3.69%

Figura IV.2.- Costos de calderas que utilizan diesel-gas

COSTO DE CALDERAS: PESOS M.N.
(Millones)CALDERAS QUE UTILIZAN DIESEL-GAS
VALORES AL 31-DIC-1989

□ valores reales

En la tabla IV.3 Se muestra una comparación de valores reales y estimados para calderas tipo CB-200 en un rango de 60 a 800 CC.

La figura IV.2 muestra el comportamiento del costo del equipo así como el ajuste del modelo.

MODELO 3.- La tabla IV.4 muestra los datos correlacionados para obtener el costo de una caldera tipo CB-400 que utiliza petróleo pesado-gas como combustible.

Tabla IV.4 Datos correlacionados, valores estimados y variación del costo para calderas tipo CB-400

CC	COSTO REAL	COSTO ESTIMADO	VARIACION
60	93'524,252	88'690,175	5.17
80	110'030,460	105'318,454	4.28
100	115'886,792	120'334,789	-3.84
125	135'537,043	137,492,156	-1.44
150	150'198,117	153'311,530	-2.07
200	169,206,029	182'055,491	-7.59
250	199'556,092	208'013,012	-4.24
300	234'465,648	231'946,273	1.07
350	252'351,015	254'317,564	-0.78
400	284'018,867	275'433,248	3.02
500	321'452,613	314'704,596	2.10
600	367'833,569	350'913,423	4.60
700	389'897,758	384'759,132	1.32
800	406'438,010	416'705,224	-2.53

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC.

La aplicación de un modelo potencial presenta una mayor aproximación al costo real del equipo, dando como resultado la ecuación IV.3.

$$\text{COSTO DE LA CALDERA} = \text{EXP}(A + B * \text{LN}(\text{CC})) \quad (\text{IV } 3)$$

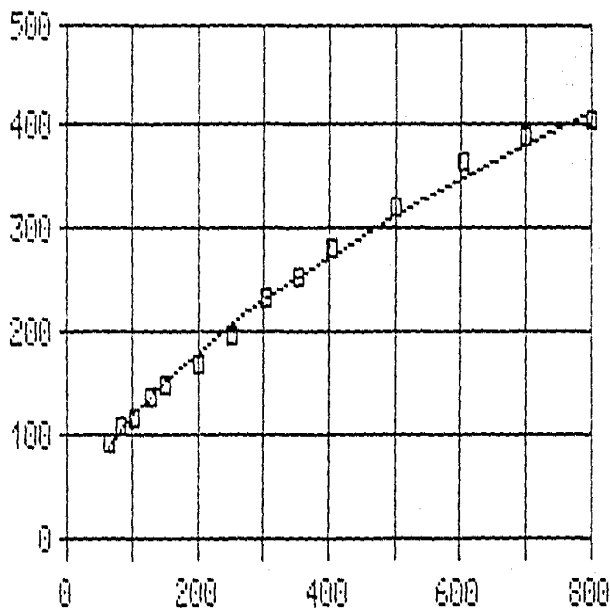
DONDE:

- A : ES UNA CONSTANTE CON VALOR = 15.85500749
- B : ES COEFICIENTE DE LN DE CC = 0.59732447
- LN(CC) : ES EL LOGARITMO NATURAL DE CABALLOS CALDERA

Figura IV.3.- Costos de calderas que utilizan petroleo pesado-gas

COSTO DE CALDERAS: PESOS M.M.
(Millones)

CALDERAS QUE UTILIZAN PETROLEO
PESADO-GAS. VALORES AL 31-DIC-1989



CAPACIDAD EN HP (CC)

□ valores reales

SOPORTES DEL MODELO

La ecuación resultante presenta los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION	R = 0.997137
NUMERO DE DATOS	N = 14
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION	= 3.15%

En la tabla IV.4 Se muestra una comparación de valores reales y estimados para calderas tipo CB-400 en un rango de 60 a 800 CC.

La figura IV.3 muestra el comportamiento del costo del equipo así como el ajuste del modelo.

MODELO 4.- La tabla IV.5 muestra los datos correlacionados para obtener el costo de una caldera tipo CB-600 que utiliza petróleo pesado como combustible.

Tabla IV.5 Datos correlacionados, valores estimados y variación del costo para calderas tipo CB-600

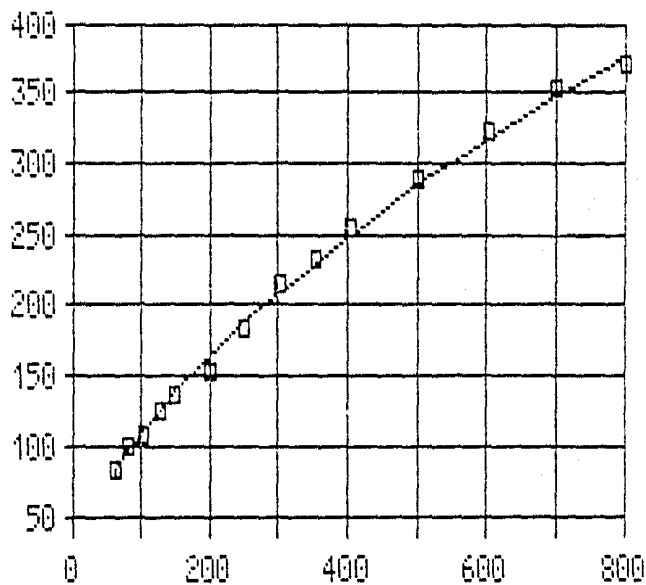
CC	COSTO REAL	COSTO ESTIMADO	VARIACION
60	84'862,929	81'925,713	3.46
80	100'662,172	97'069,752	3.57
100	108'006,261	110'718,941	-2.51
125	125'317,280	126,287,371	-0.77
150	138'467,417	140'619,344	-1.55
200	155,114,418	166'612,952	-7.41
250	184'713,907	190'040,760	-2.88
300	216'498,237	211'607,913	2.26
350	232'257,741	231'741,403	0.22
400	255'316,740	250'723,821	1.80
500	289'218,667	285'978,641	1.12
600	323'120,228	318'433,494	1.45
700	355'767,939	348'730,932	1.98
800	372'510,285	377'296,204	-1.28

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC.

Figura IV.4.- Costos de calderas que utilizan petroleo pesado

COSTO DE CALDERAS: PESOS M.N.
(Millones)

CALDERAS QUE UTILIZAN PETROLEO PESADO
VALORES AL 31-DIC-1989



CAPACIDAD EN HP (CC)

□ valores reales

La aplicación de un modelo potencial presenta una mayor aproximación al costo real del equipo, dando como resultado la ecuación IV.4.

$$\begin{aligned} & \text{COSTO} \\ & \text{DE LA} = \text{EXP}(A + B * \text{LN}(\text{CC})) \qquad \qquad \qquad (\text{IV.4}) \\ & \text{CALDERA} \end{aligned}$$

DONDE:

A : ES UNA CONSTANTE CON VALOR = 15.80730398
 B : ES COEFICIENTE DE LN DE CC = 0.58959851
 LN(CC) : ES EL LOGARITMO NATURAL DE CABALLOS CALDERA

SOPORTES DEL MODELO

La ecuación resultante presenta los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION	R	= 0.998220
NUMERO DE DATOS	N	= 14
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION		= 2.31%

En la tabla IV.5 Se muestra una comparación de valores reales y estimados para calderas tipo CB-600 en un rango de 60 a 800 CC.

La figura IV.4 muestra el comportamiento del costo del equipo así como el ajuste del modelo.

MODELO 5.- En la tabla IV.6 se presentan los datos correlacionados para obtener el costo de una caldera tipo CB-700 que utiliza gas como combustible.

Tabla IV.6 Datos correlacionados, valores estimados y variación del costo para calderas tipo CB-700

CC	COSTO REAL	COSTO ESTIMADO	VARIACION
60	70'939,068	70'242,082	0.98
80	86'339,580	84'959,332	1.60
100	95'848,563	98'467,126	-2.73
125	114'495,646	114,122,542	0.33
150	128'013,312	128'744,520	-0.57
200	148,701,490	155'719,308	-4.72
250	178'307,407	180'477,323	-1.22
300	211'245,518	203'601,023	3.62
350	225'909,423	225'448,544	0.20
400	255'218,343	246'259,884	3.51
500	291'173,180	285'413,062	1.98
600	325'266,005	321'981,678	1.01
700	356'317,073	356'532,102	-0.06
800	373'219,527	389'443,871	-4.35

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC

La aplicación de un modelo potencial presenta una mayor aproximación al costo real del equipo, dando como resultado la ecuación IV.5.

COSTO
 DE LA = EXP(A + B * LN(CC)) (IV.5)
 CALDERA

DONDE:

- A : ES UNA CONSTANTE CON VALOR = 15.36013918
- B : ES COEFICIENTE DE LN DE CC = 0.66123379
- LN(CC) : ES EL LOGARITMO NATURAL DE CABALLOS CALDERA

SOPORTES DEL MODELO

La ecuación resultante presenta los siguientes parámetros estadísticos.

COEFICIENTE DE REGRESION	R	= 0.998939
NUMERO DE DATOS	N	= 14
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION		= 1.92%

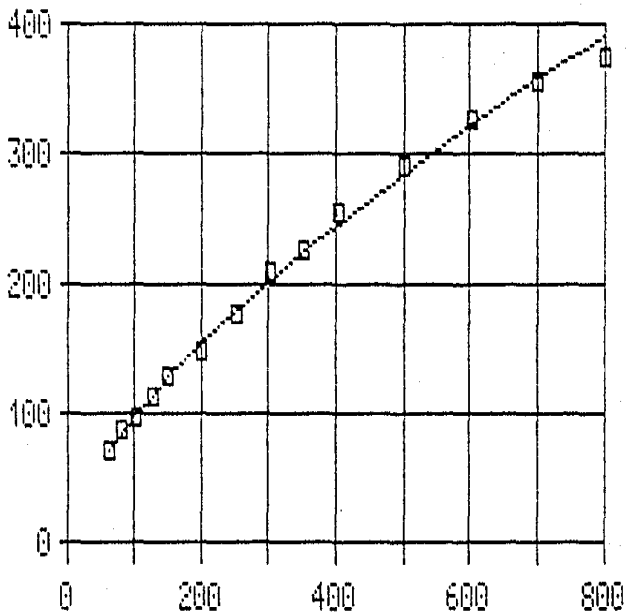
En la tabla IV.6 Se muestra una comparación de valores reales y estimados para calderas tipo CB-700 en un rango de 60 a 800 CC.

La figura IV.5 muestra el comportamiento del costo del equipo así como el ajuste del modelo.

Figura IV.5.- Costos de calderas que utilizan gas.

COSTO DE CALDERAS: PESOS M.N.
(Millones)

CALDERAS QUE UTILIZAN GAS
VALORES AL 31-DIC-1989



CAPACIDAD EN HP (CC)

□ valores reales

Las calderas para generar vapor pueden fabricarse en presiones de diseño de 1.05, 14.1, 17.6 y 21 Kg/Cm². Los ajustes de precios respecto a las calderas de presión estándar de 10.5 Kg/Cm² se indican en la tabla IV.7.

Para calcular el costo de una caldera a diferentes presiones de diseño, primero se calcula el costo a 10.5 Kg/Cm² por medio de los modelos antes descritos y se le incrementa o disminuye el valor en un porcentaje de acuerdo a la tabla IV.7.

Tabla IV.7. Porcentaje de ajuste de costos de calderas por diferentes presiones.

MODELO	CAPACIDAD	PRESIONES EN Kg/Cm ² (Lb/in ²)			
		1.05 (15)	14.1 (200)	17.6 (250)	21 (300)
CB	400-800	-1.50 %	13.00 %	23.50 %	38.50 %

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC.

Las calderas para el calentamiento de agua también pueden fabricarse en diferentes presiones de diseño tales como 2.1, 10.5, 14.1, 17.6, y 21 Kg/Cm². La tabla IV.8 presenta los ajustes de los precios de estos equipos respecto a las calderas de presión estándar de 10.5 Kg/Cm².

Tabla IV.8. Ajuste de costos de calderas para el calentamiento de agua.

MODELO	CAPACIDAD	PRESIONES EN Kg/Cm ² (Lb/in ²)				
		2.1 (30)	10.5 (150)	14.1 (200)	17.6 (250)	21.0 (300)
CB	60-300	PRECIO NORMAL	CARGO DEL 3 % SOBRE EL PRECIO DE UNA CALDERA DE VAPOR DE LA MISMA PRESION.			
	300-800	-1.5 %	CARGO DEL 3 % SOBRE EL PRECIO DE UNA CALDERA DE VAPOR DE LA MISMA PRESION.			

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC.

EQUIPOS OPCIONALES PARA CALDERAS:

COLUMNAS

TABLA IV.9 Estos equipos normalmente son incluidos en la caldera, si se requiere un equipo adicional es necesario agregar al costo base.

MODELO	CAPACIDAD CC	PRESION DE DISEÑO Kg/Cm2	COSTOS DE:	
			COLUMNA AUXILIAR	COLUMNA C/NIVEL
MONITOR	20-800	10.5	1'828,453	2'097,052
CBH-CB		14.1	3'602,052	3'826,927
		17.6	3'602,052	3'826,927
		21.0	4'191,062	3'681,200

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC.

DIAGNOSTICADOR CBM

Tiene una combinación de indicadores de encendido y de fallas. Indica cuando existe suministro de corriente eléctrica y también cuando el paro obedece a la condición de demanda insatisfecha. Cuenta con 11 circuitos que supervisan el estado de los controles o interruptores límite de la caldera, encendiendo una luz en el tablero del diagnosticador indicando donde se localiza la falla. El costo se incluye en la caldera.

Existen otros equipos adicionales necesarios en la instalación de una caldera, tales como: desareadores, tanques de condensados, equipo de bombeo de agua, paquete de válvulas, chimeneas, suavizadores, tanque para combustóleo, tanque para diesel y tanque de agua caliente, los cuales se pueden cotizar por separado, como se menciona a continuación

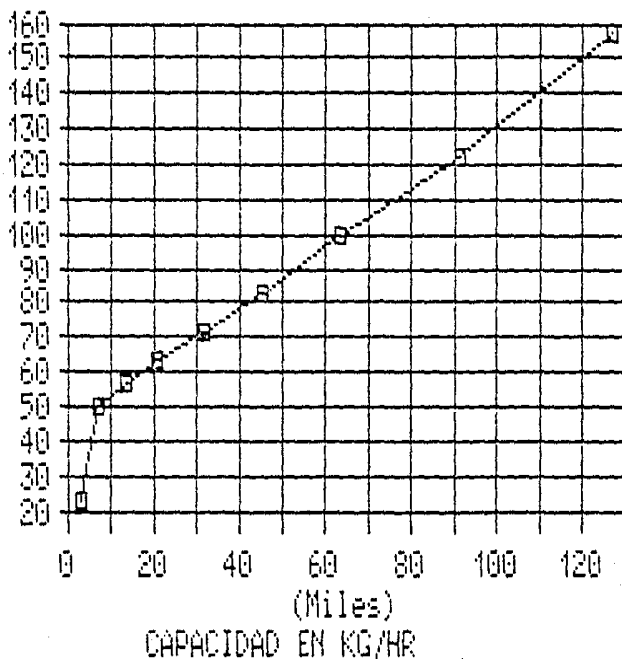
DESAREADORES

El costo de los desareadores se determinará por medio de figura IV.6 el cual depende del flujo másico

TANQUES DE CONDENSADOS, PARA DIESEL Y AGUA CALIENTE.

Estos equipos se pueden estimar por medio del capítulo III.4 correspondiente a tanques del presente trabajo.

Figura IV.6.- Costos de desareadores.

COSTO DEL DESAREADOR PESOS M.N.
(Millones)COSTO DE DESAREADORES PARA CALDERAS
VALORES AL 31-DIC-1989

□ valores reales

CHIMENEAS

Las chimeneas son fabricadas en láminas en calibres 12 y 14 y se pueden cotizar por metro o por tramos de 6, 9 y 12 metros cuyos costos se muestran en la tabla IV.10

Tabla IV.10.- Costos de chimeneas rectas en miles de pesos.

MODELO	CAPACIDAD HP	DIAMETRO		LAMINA CALIBRE M	COSTO			
		IN	MM		6 M	9 M	12 M	
CB	60	10	254	12	190	1,139	1,645	2,153
CB	80-100	12	305	12	238	1,429	2,052	2,675
CB	125-200	16	406	12	338	2,020	2,486	3,834
CB	250-350	20	508	12	463	2,773	3,934	5,091
CB	400-800	24	610	12	601	3,605	5,066	6,529

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC

SUAVISADORES.

El costo de estos equipos se puede obtener del capítulo IV.3 tratamiento de agua del presente estudio.

BOMBAS.

El costo de las bombas para alimentación de agua u otros servicios se estimará del capítulo III.6 correspondiente a bombas.

METODOLOGIA PARA ESTIMAR EL COSTO DE UNA CALDERA CON SUS ACCESORIOS.

1.- Costo base de la caldera	-----
2.- Equipo auxiliar	-----
3.- Suavisador	-----
4.- Chimenea	-----
5.- Tanque para combustóleo	-----
6.- Tanque para diesel	-----
7.- Tanque para agua caliente	-----

TOTAL

El costo base del equipo dependerá únicamente del servicio, presión de diseño y tipo de combustible

Cabe hacer mención que dentro del equipo auxiliar están contemplados los desareadores, transformadores, válvulas y equipo de bombeo para suministro de agua.

IV.2 TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento, son equipos en el cual se transfiere energía por contacto directo entre el agua proveniente de los sistemas de enfriamiento del proceso y el aire del medio ambiente. La torre de enfriamiento, consiste en una estructura con relleno interior, que permite una mayor superficie de contacto entre los dos fluidos.

IV.2.1 TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

Aunque la construcción de las torres de enfriamiento tienen gran similitud, estas se clasifican de acuerdo a los medios por los cuales se suministra el aire. Todas emplean hileras horizontales de empaque para suministrar gran superficie de contacto entre el aire y el agua caliente.

Existen básicamente dos tipos de torres que son: tiro mecánico y torres de circulación natural.

TORRES DE TIRO MECANICO.

Se les da este nombre debido a que estos equipos necesitan un medio mecánico para hacer circular el aire, la forma en la cual se hace circular el aire crea otros dos subtipos:

De tiro inducido.- El aire se succiona a través de la torre mediante un abanico situado en la parte superior de la torre.

De tiro forzado.- Las torres de tiro forzado son los equipos en los cuales el aire circula por el fondo de la torre mediante un ventilador y es descargado por la parte superior.

TORRES DE CIRCULACION NATURAL.

En las torres de circulación natural como su nombre lo indica, el aire fluye libremente sin que una fuerza mecánica provoque este movimiento, la forma en que entra el aire a la torre genera dos subtipos de estos equipos.

Torre atmosférica.- Esta torre aprovecha las corrientes de aire, el cual entra a través de los rompevientos en una sola dirección, los cuales son localizados en toda la torre, mientras que el agua fluye por la parte superior descendiendo por la torre hasta un depósito situado en la parte inferior de la misma.

Torre de tiro natural.- Al igual que la anterior el aire fluye sin ninguna fuerza mecánica por la parte inferior de la torre, el aire al estar en contacto con el agua fría fluye por convección hacia la chimenea de la torre (debido a una diferencia de densidades).

IV.2.2 CASO DE ESTUDIO.

La concentración de la industria en las grandes ciudades y la creación de parques industriales, ocasiona problemas de espacio suficiente o libre de obstáculos necesarios para las torres de circulación natural, esto provoca una disminución en la demanda de estos equipos. Este trabajo desarrolla un modelo para estimar el costo de torres de enfriamiento de tiro inducido construidas en lamina galvanizada con recubrimiento interior de pintura epoxi y con relleno de PVC. Estos equipo presentan las características adecuadas para un buen funcionamiento en las condiciones mencionadas anteriormente y que por ende tienen una mayor demanda.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO

Las variables de diseño más importantes que influyen en el costo de las torres son las siguientes:

- 1.- Intervalo de enfriamiento (temperatura del agua caliente menos temperatura de agua fría).
- 2.- Diferencia útil de temperatura a la temperatura de bulbo húmedo (temperatura de agua fría menos temperatura de bulbo húmedo).
- 3.- Flujo de agua que se va a enfriar.
- 4.- Temperatura de bulbo húmedo. Es la temperatura hasta la cual el aire puede ser enfriado adiabáticamente hasta la saturación por la adición de vapor de agua.

5.- Velocidad del aire a través de la celda. La velocidad depende directamente del ventilador

6.- Número de celdas

7.- Material de construcción. Los materiales más comunes utilizados en los empaques son la madera, el asbesto y el PVC.

8.- Cargas de calor. Es la cantidad de calor disipada por la torre

IV.2.3 DESARROLLO DEL MODELO.

Una vez seleccionado el tipo y material de la torre. El modelo propuesto correlaciona la temperatura de entrada, salida y de bulbo húmedo, así como el flujo del agua con el costo del equipo.

El modelo que se desarrolla en esta sección se subdivide en dos etapas principales. Los resultados de este modelo son en pesos al 31 de mayo de 1990.

Primera etapa.- En esta etapa se determina el valor del escalón de capacidad (parámetro utilizado por el fabricante en la selección de torres) de la siguiente manera; con la temperatura de bulbo húmedo se selecciona una tabla de la IV.12 a la IV.23 que corresponda a dicho valor, una vez localizada la tabla, en la columna TR1 se encuentra la temperatura de entrada del agua, en el mismo renglón se localiza la temperatura de salida y por último con una línea vertical hacia arriba se lee el valor del escalón de capacidad en la parte superior de la tabla.

Nota. El escalón de capacidad engloba las condiciones de operación e involucra las siguientes variables: temperatura de entrada, salida y de bulbo húmedo. Este es proporcionado por el fabricante.

Segunda etapa.- Una vez obtenido el valor del escalón de capacidad y con el gasto de agua se determina el costo de la torre mediante la ecuación IV.6.

$$\text{COSTO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO} = \text{EXP}(A + B \cdot \text{LN}(F) + C \cdot \text{LN}(EC)) \quad (\text{IV.6})$$

DONDE:

A : ES UNA CONSTANTE = 8.555146
 B : ES UNA CONSTANTE = 0.6902
 C : ES UNA CONSTANTE = -0.39630
 F : ES EL FLUJO DE AGUA EN L/S
 EC : ES EL ESCALON DE CAPACIDAD.

Esta ecuación fue desarrollada bajo las siguientes condiciones de operación: flujo de agua entre 1.5 a 100 l/s, temperatura de bulbo húmedo de 17 a 28 °C. En vista de la cantidad de condiciones de operación utilizadas para el desarrollo del modelo, solo una muestra de los datos utilizados se presentan en la tabla IV.11. Aunque la ecuación IV.6 fue desarrollada para torres construidas con relleno de PVC, esta ecuación puede ser utilizada para torres construidas con relleno de madera con un error de 15 %.

SOPORTE DEL MODELO.

Del mismo análisis realizado para determinar la ecuación IV.6 se determinaron los parámetros siguientes:

COEFICIENTE DE REGRESION	R = 0.984975
NUMERO DE DATOS	N = 129
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION	= 7.54 %

Además de los parámetros anteriores la tabla IV.11 presenta una muestra de los datos, resultados y variaciones del modelo.

Tabla IV.11 muestra de los datos y resultados del análisis estadístico, para torres de enfriamiento.

FLUJO L/S	ESCALON DE CAPACIDAD	COSTO REAL MILES \$	COSTO ESTIMADO MILES \$	VARIACION %
25.0	10.0	19'231	19'237	0.03
13.3	1.0	31'013	30'992	-0.07
15.0	8.2	14'615	14'627	0.08
25.0	7.5	21'538	21'560	0.10
2.0	1.4	7'308	7'334	0.36
4.0	6.3	6'495	6'520	0.39
42.0	10.3	27'308	27'201	-0.39
38.0	12.0	24'013	23'894	-0.50
35.0	10.4	24'013	23'892	-0.50
17.0	6.8	17'266	17'175	-0.53
14.0	7.4	14'615	14'526	-0.61
6.0	9.3	7'308	7'392	1.16
40.0	9.8	27'308	26'824	-1.77
13.0	6.7	14'615	14'356	-1.77
5.0	7.3	7'308	7'175	-1.82
20.0	8.5	17'266	17'588	1.86
28.5	12.0	19'231	19'590	1.87
3.5	5.3	6'495	6'368	-1.96
11.0	1.3	24'013	24'500	2.03
7.0	2.3	14'615	14'304	-2.13
17.0	5.4	19'231	18'818	-2.15
4.5	7.4	6'495	6'636	2.16
30.0	8.3	24'013	23'489	-2.18
8.0	1.3	19'231	19'665	2.26
9.0	1.8	19'231	18'750	-2.50
17.0	9.6	14'615	14'981	2.50
12.0	1.7	24'031	23'393	-2.58
15.0	5.8	17'266	16'778	-2.82
12.0	6.0	14'615	14'191	-2.90
20.0	5.5	21'538	20'899	-2.96
11.0	5.2	14'615	14'144	-3.22
14.0	5.2	17'266	16'706	-3.25
3.0	4.2	6'495	6'278	-3.34
30.0	9.5	21'538	22'265	3.38
20.0	7.4	19'231	18'581	-3.38
2.7	3.5	6'495	6'275	-3.39
8.0	3.0	14'615	14'118	-3.40
7.0	11.5	7'308	7'559	3.43
13.0	2.0	24'013	23'179	-3.47
12.0	4.0	17'266	16'665	-3.48
13.0	4.6	17'266	16'663	-3.49
31.5	10.3	21'538	22'301	3.54
14.0	1.2	31'013	29'870	-3.68

FUENTE: FLAKT, S.A. DE C.V.; TORRES MARMEX, S.A. DE C.V. E INDUSTRIAL MEXICANA, S.A. DE C.V.

Tabla IV.12 Temperatura de bulbo húmedo = 17 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD												
TBI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22	17.7	18.1	18.5	18.9	19.3	19.6	19.7	19.8	20.0	20.2	20.3	20.4
23	17.8	18.3	18.8	19.2	19.6	19.9	20.0	20.4	20.6	20.8	20.9	21.0
24	18.0	18.5	19.1	19.6	20.0	20.2	20.7	20.9	21.2	21.3	21.5	21.7
25	18.1	18.7	19.4	19.8	20.4	20.6	21.1	21.4	21.7	21.9	22.1	22.3
26	18.2	18.9	19.6	20.2	20.7	21.2	21.6	21.9	22.3	22.5	22.7	22.9
27	18.3	19.1	19.9	20.5	21.1	21.6	22.0	22.4	22.8	23.0	23.2	23.5
28	18.4	19.2	20.1	20.8	21.5	22.0	22.5	22.9	23.3	23.6	23.9	24.2
29	18.5	19.4	20.3	21.0	21.8	22.4	22.9	23.4	23.8	24.1	24.5	24.8
30	18.6	19.6	20.5	21.3	22.1	22.7	23.3	23.8	24.3	24.7	25.0	25.4
31	18.7	19.7	20.7	21.6	22.4	23.1	23.8	24.3	24.8	25.2	25.6	25.9
32	18.8	19.8	20.9	21.8	22.7	23.4	24.2	24.7	25.1	25.7	26.1	26.5
33	18.8	20.0	21.1	22.1	23.0	23.8	24.5	25.1	25.7	26.2	26.6	27.0
34	18.9	20.1	21.3	22.3	23.2	24.1	24.9	25.5	26.2	26.7	27.1	27.5
35	19.0	20.2	21.5	22.5	23.5	24.4	25.3	25.9	26.6	27.1	27.6	28.1
36	19.1	20.3	21.6	22.7	23.7	24.7	25.6	26.3	27.0	27.6	28.1	28.6
37	19.1	20.5	21.8	23.0	24.1	25.0	25.9	26.7	27.4	28.0	28.6	29.1
38	19.2	20.5	22.0	23.2	24.3	25.3	26.3	27.0	27.8	28.4	29.0	29.6
39	19.3	20.7	22.1	23.3	24.5	25.6	26.6	27.4	28.1	28.8	29.5	30.0
40	19.3	20.8	22.3	23.5	24.7	25.8	26.9	27.7	28.5	29.2	29.9	30.5
41	19.4	20.9	22.4	23.7	24.9	26.1	27.2	28.0	28.9	29.6	30.3	30.9
42	19.4	21.0	22.5	23.9	25.2	26.3	27.4	28.3	29.2	30.0	30.7	31.3
43	19.5	21.1	22.6	24.0	25.4	26.6	27.7	28.6	29.6	30.3	31.1	31.8
44	19.5	21.3	22.7	24.2	25.6	26.8	28.0	28.9	29.9	30.7	31.5	32.2
45	19.6	21.3	22.9	24.3	25.7	27.0	28.2	29.2	30.1	31.0	31.8	32.6
46	19.6	21.4	23.0	24.5	25.9	27.2	28.4	29.5	30.5	31.3	32.2	32.9
47	19.7	21.4	23.1	24.6	26.1	27.4	28.7	29.7	30.6	31.7	32.5	33.3
48	19.7	21.5	23.2	24.7	26.2	27.6	28.9	30.0	31.1	32.0	32.9	33.7
49	19.7	21.5	23.3	24.9	26.4	27.8	29.1	30.1	31.1	32.2	33.2	34.0
50	19.8	21.6	23.4	25.0	26.6	28.0	29.2	30.4	31.6	32.5	33.5	34.2

Tabla IV.13 Temperatura de bulbo húmedo = 18 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD

FRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
23	18.7	19.1	19.5	19.8	20.1	20.4	20.6	20.8	21.0	21.1	21.2	21.3
24	18.8	19.3	19.7	20.1	20.5	20.8	21.1	21.3	21.5	21.7	21.8	22.0
25	18.9	19.4	20.0	20.4	20.9	21.2	21.6	21.8	22.1	22.3	22.5	22.6
26	19.0	19.6	20.2	20.8	21.3	21.6	22.0	22.3	22.6	22.8	23.0	23.2
27	19.1	19.8	20.5	21.0	21.6	22.0	22.5	22.8	23.1	23.4	23.6	23.9
28	19.2	19.9	20.7	21.3	22.0	22.4	22.9	23.2	23.6	23.9	24.2	24.5
29	19.3	20.1	20.9	21.6	22.3	22.8	23.3	23.7	24.1	24.5	24.8	25.0
30	19.4	20.2	21.1	21.9	22.6	23.2	23.8	24.2	24.6	25.0	25.3	25.6
31	19.4	20.4	21.3	22.1	22.9	23.5	24.2	24.6	25.1	25.5	25.9	26.2
32	19.5	20.5	21.5	22.4	23.2	23.9	24.6	25.1	25.6	26.0	26.4	26.8
33	19.6	20.7	21.7	22.6	23.5	24.2	24.9	25.5	26.1	26.5	26.9	27.3
34	19.7	20.9	21.9	22.9	23.8	24.6	25.3	25.9	26.5	27.0	27.4	27.8
35	19.7	20.9	22.1	23.1	24.1	24.9	25.7	26.3	26.9	27.4	27.9	28.4
36	19.8	21.0	22.2	23.3	24.3	25.2	26.0	26.7	27.3	27.9	28.4	28.8
37	19.9	21.1	22.4	23.5	24.6	25.4	26.3	27.0	27.7	28.3	28.9	29.3
38	19.9	21.2	22.5	23.7	24.8	25.7	26.6	27.3	28.1	28.7	29.3	29.8
39	20.0	21.3	22.7	23.9	25.0	26.0	26.9	27.7	28.5	29.1	29.6	30.3
40	20.1	21.4	22.8	24.0	25.3	26.3	27.1	28.1	28.9	29.5	30.2	30.7
41	20.1	21.5	22.9	24.2	25.5	26.5	27.5	28.4	29.2	29.9	30.6	31.2
42	20.2	21.5	23.1	24.4	25.7	26.7	27.8	28.7	29.5	30.3	31.0	31.6
43	20.2	21.7	23.2	24.5	25.9	27.0	28.1	29.0	29.9	30.6	31.4	32.0
44	20.3	21.8	23.3	24.7	26.0	27.2	28.3	29.3	30.2	31.0	31.7	32.4
45	20.3	21.9	23.4	24.9	26.2	27.4	28.5	29.5	30.5	31.3	32.1	32.8
46	20.3	21.9	23.5	25.0	26.4	27.6	28.8	29.8	30.8	31.6	32.5	33.2
47	20.4	22.0	23.6	25.1	26.6	27.8	29.0	30.0	31.1	31.9	32.8	33.6
48	20.4	22.1	23.7	25.2	26.7	28.0	29.2	30.3	31.4	32.2	33.1	33.9
49	20.5	22.1	23.8	25.4	26.9	28.2	29.4	30.5	31.6	32.5	33.4	34.2
50	20.5	22.2	23.9	25.5	27.0	28.3	29.7	30.8	31.8	32.8	33.7	34.6

Tabla IV.14 Temperatura de bulbo húmedo = 19 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD

TK1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	19.6	20.0	20.4	20.7	21.0	21.3	21.5	21.7	21.9	22.0	22.2	22.3
25	19.7	20.2	20.7	21.0	21.4	21.7	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	22.9
26	19.8	20.3	20.9	21.3	21.6	22.1	22.5	22.7	23.0	23.2	23.4	23.5
27	19.9	20.5	21.1	21.6	22.1	22.5	22.9	23.2	23.5	23.7	23.9	24.1
28	20.0	20.7	21.3	21.9	22.5	22.9	23.3	23.7	24.0	24.3	24.5	24.7
29	20.1	20.8	21.5	22.2	22.8	23.3	23.8	24.1	24.5	24.8	25.1	25.3
30	20.2	21.0	21.8	22.4	23.1	23.7	24.2	24.6	25.0	25.3	25.6	25.9
31	20.2	21.1	22.0	22.7	23.4	24.0	24.6	25.0	25.5	25.8	26.2	26.5
32	20.3	21.2	22.1	22.9	23.7	24.4	25.0	25.5	25.9	26.3	26.7	27.1
33	20.4	21.4	22.3	23.2	24.0	24.7	25.4	25.9	26.4	26.8	27.2	27.6
34	20.5	21.5	22.5	23.4	24.3	25.0	25.7	26.3	26.8	27.3	27.7	28.1
35	20.5	21.6	22.7	23.6	24.5	25.2	26.1	26.7	27.2	27.7	28.2	28.6
36	20.6	21.7	22.8	23.8	24.8	25.6	26.4	27.0	27.7	28.2	28.7	29.1
37	20.6	21.8	23.0	24.0	25.0	25.9	26.7	27.4	28.1	28.6	29.2	29.6
38	20.7	21.9	23.1	24.2	25.3	26.2	27.0	27.7	28.5	29.0	29.6	30.1
39	20.8	22.0	23.2	24.4	25.5	26.4	27.3	28.1	28.8	29.4	30.0	30.6
40	20.8	22.1	23.4	24.6	25.7	26.7	27.6	28.4	29.2	29.8	30.5	31.0
41	20.9	22.2	23.5	24.7	25.9	26.9	27.9	28.7	29.5	30.2	30.9	31.4
42	20.9	22.3	23.6	24.9	26.1	27.1	28.2	29.0	29.9	30.6	31.3	31.9
43	20.9	22.3	23.8	25.0	26.3	27.4	28.4	29.3	30.2	30.9	31.6	32.3
44	21.0	22.4	23.9	25.2	26.5	27.6	28.7	29.6	30.5	31.3	32.0	32.7
45	21.0	22.5	24.0	25.3	26.7	27.8	28.9	29.9	30.8	31.6	32.4	33.1
46	21.1	22.6	24.1	25.5	26.8	28.0	29.2	30.1	31.1	31.9	32.7	33.4
47	21.1	22.7	24.2	25.6	27.0	28.2	29.4	30.4	31.4	32.2	33.1	33.8
48	21.1	22.7	24.3	25.7	27.2	28.4	29.6	30.6	31.7	32.5	33.4	34.1
49	21.2	22.8	24.4	25.8	27.3	28.6	29.8	30.9	31.9	32.8	33.7	34.5

Tabla IV.15 Temperatura de bulbo húmedo = 20 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD

FRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	20.5	20.9	21.3	21.6	22.0	22.2	22.5	22.6	22.9	23.0	23.1	23.2
26	20.6	21.1	21.6	21.9	22.3	22.6	22.9	23.1	23.4	23.5	23.7	23.8
27	20.7	21.3	21.8	22.2	22.7	23.0	23.3	23.6	23.9	24.1	24.3	24.5
28	20.8	21.4	22.0	22.5	23.0	23.4	23.8	24.1	24.4	24.6	24.9	25.1
29	20.9	21.5	22.2	22.8	23.3	23.8	24.2	24.5	24.9	25.1	25.4	25.6
30	21.0	21.7	22.4	23.0	23.6	24.1	24.6	25.0	25.4	25.7	26.0	26.2
31	21.0	21.8	22.6	23.3	23.9	24.5	25.0	25.4	25.9	26.2	26.5	26.8
32	21.1	22.0	22.8	23.5	24.2	24.8	25.4	25.9	26.2	26.7	27.0	27.4
33	21.2	22.1	23.0	23.7	24.5	25.2	25.8	26.3	26.8	27.2	27.6	27.9
34	21.2	22.2	23.1	24.0	24.8	25.5	26.1	26.7	27.2	27.6	28.1	28.4
35	21.3	22.3	23.2	24.2	25.1	25.9	26.5	27.1	27.6	28.1	28.5	28.9
36	21.4	22.4	23.4	24.4	25.3	26.1	26.8	27.4	28.0	28.5	29.0	29.4
37	21.4	22.5	23.6	24.6	25.5	26.3	27.1	27.8	28.4	28.9	29.5	29.9
38	21.5	22.6	23.7	24.7	25.8	26.6	27.4	28.1	28.8	29.4	29.9	30.4
39	21.5	22.7	23.8	24.9	26.0	26.9	27.8	28.5	29.2	29.8	30.3	30.8
40	21.6	22.8	24.0	25.1	26.2	27.1	28.0	28.8	29.5	30.1	30.8	31.3
41	21.6	22.9	24.1	25.3	26.4	27.4	28.3	29.1	29.9	30.5	31.1	31.7
42	21.7	22.9	24.2	25.4	26.6	27.6	28.6	29.4	30.2	30.9	31.6	32.1
43	21.7	23.0	24.4	25.6	26.8	27.8	28.8	29.7	30.5	31.2	31.9	32.6
44	21.7	23.1	24.5	25.7	26.9	28.0	29.1	30.0	30.8	31.6	32.3	32.9
45	21.8	23.2	24.6	25.9	27.1	28.2	29.3	30.2	31.1	31.9	32.7	33.3
46	21.8	23.3	24.7	26.0	27.3	28.4	29.5	30.5	31.4	32.2	32.9	33.7
47	21.9	23.3	24.8	26.1	27.5	28.6	29.8	30.7	31.7	32.5	33.3	34.1
48	21.9	23.4	24.9	26.2	27.6	28.8	30.0	31.0	32.0	32.8	33.7	34.4
49	21.9	23.4	24.9	26.4	27.8	29.0	30.2	31.2	32.2	33.1	34.0	34.7
50	21.9	23.5	25.0	26.5	27.9	29.1	30.4	31.4	32.5	33.4	34.3	35.1

Tabla IV.16 Temperatura de bulbo húmedo = 21 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD												
TRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
26	21.6	21.9	22.2	22.5	22.8	23.1	23.4	23.6	23.7	23.9	24.0	24.2
27	21.6	22.0	22.5	22.8	23.2	23.5	23.8	24.0	24.1	24.4	24.6	24.8
28	21.6	22.2	22.7	23.1	23.5	23.9	24.2	24.5	24.8	25.0	25.2	25.4
29	21.7	22.3	22.9	23.4	23.8	24.2	24.7	25.0	25.3	25.5	25.8	26.0
30	21.8	22.4	23.1	23.6	24.0	24.4	24.9	25.1	25.4	25.8	26.0	26.3
31	21.9	22.6	23.2	23.9	24.3	24.7	25.1	25.4	25.7	26.1	26.3	26.6
32	21.9	22.7	23.4	24.1	24.5	25.0	25.4	25.7	26.1	26.4	26.7	27.1
33	22.0	22.8	23.6	24.3	24.7	25.2	25.6	26.0	26.3	26.7	27.1	27.5
34	22.0	22.9	23.8	24.5	25.0	25.4	25.8	26.2	26.5	27.1	27.4	27.7
35	22.1	23.0	23.9	24.7	25.2	25.6	26.0	26.4	26.7	27.3	27.6	27.9
36	22.2	23.1	24.1	24.9	25.4	25.8	26.2	26.6	27.0	27.4	27.8	28.2
37	22.2	23.2	24.2	25.1	25.6	26.0	26.4	26.8	27.2	27.6	28.0	28.4
38	22.3	23.3	24.3	25.3	25.8	26.2	26.6	27.0	27.4	27.8	28.2	28.6
39	22.4	23.4	24.5	25.5	26.0	26.4	26.8	27.2	27.6	28.0	28.4	28.8
40	22.4	23.5	24.6	25.6	26.1	26.5	26.9	27.3	27.7	28.1	28.5	28.9
41	22.4	23.5	24.7	25.8	26.3	26.7	27.1	27.5	27.9	28.3	28.7	29.1
42	22.4	23.6	24.8	25.9	26.4	26.8	27.2	27.6	28.0	28.4	28.8	29.2
43	22.5	23.7	25.0	26.1	26.6	27.0	27.4	27.8	28.2	28.6	29.0	29.4
44	22.5	23.8	25.1	26.2	26.7	27.1	27.5	27.9	28.3	28.7	29.1	29.5
45	22.5	23.9	25.2	26.4	26.9	27.3	27.7	28.1	28.5	28.9	29.3	29.7
46	22.6	23.9	25.3	26.5	27.0	27.4	27.8	28.2	28.6	29.0	29.4	29.8
47	22.6	24.0	25.3	26.6	27.1	27.5	27.9	28.3	28.7	29.1	29.5	29.9
48	22.6	24.0	25.4	26.8	27.3	27.7	28.1	28.5	28.9	29.3	29.7	30.1
49	22.7	24.1	25.5	26.9	27.4	27.8	28.2	28.6	29.0	29.4	29.8	30.2
50	22.7	24.1	25.6	27.0	27.5	27.9	28.3	28.7	29.1	29.5	29.9	30.3

Tabla IV.17 Temperatura de bulbo humedo = 22 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD

FRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
27	22.4	22.8	23.1	23.5	23.8	24.0	24.3	24.6	24.7	24.8	25.0	25.1
28	22.5	22.9	23.4	23.7	24.1	24.4	24.7	25.0	25.2	25.4	25.5	25.7
29	22.6	23.1	23.5	24.0	24.4	24.8	25.1	25.4	25.7	25.9	26.1	26.3
30	22.6	23.2	23.7	24.2	24.7	25.1	25.5	25.9	26.2	26.4	26.7	26.9
31	22.7	23.3	23.9	24.5	25.0	25.5	25.9	26.3	26.6	26.9	27.2	27.4
32	22.8	23.4	24.1	24.7	25.3	25.8	26.3	26.7	27.1	27.4	27.7	28.0
33	22.8	23.5	24.3	24.9	25.6	26.1	26.7	27.1	27.5	27.9	28.2	28.5
34	22.9	23.6	24.4	25.1	25.9	26.4	27.0	27.5	28.0	28.3	28.7	29.0
35	22.9	23.7	24.6	25.2	26.1	26.7	27.4	27.9	28.4	28.8	29.2	29.5
36	23.0	23.8	24.7	25.5	26.4	27.0	27.7	28.2	28.8	29.2	29.6	30.0
37	23.0	23.9	24.9	25.7	26.6	27.3	28.0	28.6	29.2	29.6	30.1	30.5
38	23.1	24.0	25.0	25.9	26.8	27.6	28.3	28.9	29.6	30.0	30.5	31.0
39	23.1	24.1	25.1	26.1	27.0	27.8	28.5	29.2	29.9	30.4	31.0	31.4
40	23.1	24.2	25.2	26.2	27.2	28.0	28.9	29.6	30.1	30.8	31.4	31.9
41	23.2	24.3	25.3	26.4	27.4	28.3	29.1	29.9	30.6	31.2	31.8	32.3
42	23.2	24.3	25.5	26.5	27.6	28.5	29.4	30.2	30.9	31.5	32.2	32.7
43	23.3	24.4	25.6	26.7	27.8	28.7	29.7	30.4	31.2	31.9	32.5	33.1
44	23.3	24.5	25.7	26.8	27.9	28.9	29.9	30.7	31.5	32.2	32.9	33.5
45	23.3	24.5	25.8	26.9	28.1	29.1	30.1	31.0	31.8	32.5	33.3	33.9
46	23.3	24.6	25.9	27.1	28.3	29.3	30.3	31.2	32.1	32.9	33.6	34.3
47	23.4	24.7	26.0	27.2	28.4	29.5	30.5	31.5	32.4	33.1	33.9	34.6
48	23.4	24.7	26.0	27.3	28.6	29.7	30.8	31.7	32.6	33.4	34.2	35.0
49	23.4	24.8	26.1	27.4	28.7	29.8	30.9	31.8	32.9	33.7	34.5	35.3
50	23.4	24.8	26.2	27.5	28.8	30.0	31.1	32.1	33.1	34.0	34.8	35.6

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Tabla IV.18 Temperatura de bulbo húmedo = 23 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD

TRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	23.4	23.7	24.1	24.4	24.7	25.0	25.2	25.4	25.6	25.8	25.9	26.0
29	23.4	23.9	24.3	24.6	25.0	25.3	25.6	25.9	26.1	26.3	26.5	26.6
30	23.5	24.0	24.4	24.9	25.3	25.7	26.0	26.3	26.6	26.8	27.0	27.2
31	23.6	24.1	24.6	25.1	25.6	26.0	26.4	26.7	27.0	27.3	27.6	27.8
32	23.6	24.2	24.8	25.3	25.9	26.3	26.8	27.1	27.5	27.8	28.1	28.3
33	23.7	24.3	25.0	25.6	26.2	26.7	27.2	27.5	27.9	28.3	28.6	28.8
34	23.7	24.4	25.1	25.8	26.4	27.0	27.5	27.9	28.4	28.7	29.1	29.4
35	23.8	24.5	25.3	26.0	26.7	27.3	27.8	28.3	28.8	29.2	29.5	29.9
36	23.8	24.6	25.4	26.2	26.9	27.5	28.1	28.7	29.2	29.6	30.0	30.3
37	23.8	24.7	25.5	26.3	27.1	27.8	28.5	29.0	29.5	30.0	30.4	30.8
38	23.9	24.8	25.6	26.5	27.3	28.1	28.8	29.3	29.9	30.4	30.9	31.3
39	23.9	24.8	25.8	26.7	27.5	28.3	29.1	29.7	30.3	30.8	31.3	31.7
40	24.0	24.9	25.9	26.9	27.7	28.5	29.3	30.0	30.6	31.2	31.7	32.2
41	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.8	29.6	30.3	31.0	31.5	32.1	32.6
42	24.0	25.1	26.1	27.1	28.1	29.0	29.8	30.6	31.3	31.9	32.5	33.0
43	24.1	25.1	26.2	27.2	28.2	29.2	30.1	30.8	31.6	32.2	32.9	33.4
44	24.1	25.2	26.3	27.4	28.4	29.4	30.3	31.1	31.9	32.6	33.2	33.8
45	24.1	25.3	26.4	27.5	28.6	29.6	30.5	31.4	32.2	32.9	33.6	34.2
46	24.1	25.3	26.5	27.6	28.8	29.8	30.8	31.6	32.5	33.2	33.9	34.5
47	24.1	25.4	26.6	27.8	28.9	29.9	31.0	31.9	32.7	33.5	34.2	34.9
48	24.2	25.4	26.7	27.9	29.1	30.1	31.2	32.1	33.0	33.8	34.5	35.2
49	24.2	25.5	26.7	28.0	29.2	30.3	31.4	32.3	33.2	34.0	34.8	35.6
50	24.2	25.5	26.8	28.1	29.3	30.4	31.5	32.5	33.5	34.3	35.1	35.9

Tabla IV.19 Temperatura de bulbo húmedo a 24 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD

RI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
29	24.3	24.7	25.0	25.3	25.6	25.9	26.1	26.3	26.5	26.7	26.9	27.0
30	24.4	24.8	25.2	25.6	25.9	26.2	26.5	26.8	27.0	27.2	27.4	27.6
31	24.4	24.9	25.3	25.9	26.2	26.6	26.9	27.2	27.5	27.7	27.9	28.1
32	24.5	25.0	25.5	26.0	26.5	26.9	27.3	27.6	27.9	28.2	28.4	28.7
33	24.5	25.1	25.7	26.2	26.8	27.2	27.7	28.0	28.4	28.7	28.9	29.2
34	24.6	25.2	25.8	26.4	27.0	26.5	26.0	26.4	26.8	27.1	27.4	29.7
35	24.6	25.3	26.0	26.6	27.3	27.8	28.3	28.6	29.1	29.5	29.9	30.2
36	24.7	25.4	26.1	26.8	27.5	28.1	28.6	29.1	29.6	30.0	30.4	30.7
37	24.7	25.5	26.2	27.0	27.7	28.3	28.9	29.5	30.0	30.4	30.8	31.2
38	24.7	25.5	26.3	27.1	27.9	28.6	29.2	29.8	30.3	30.8	31.2	31.6
39	24.8	25.6	26.5	27.3	28.1	28.9	29.5	30.1	30.7	31.2	31.6	32.1
40	24.8	25.7	26.6	27.4	28.3	29.0	29.8	30.4	31.0	31.5	32.1	32.5
41	24.8	25.8	26.7	27.6	28.5	29.3	30.0	30.7	31.4	31.9	32.4	32.9
42	24.9	25.8	26.8	27.7	28.6	29.5	30.3	31.0	31.7	32.3	32.8	33.3
43	24.9	25.9	26.9	27.8	28.8	29.7	30.5	31.3	32.0	32.6	33.2	33.7
44	24.9	25.9	27.0	28.0	29.0	29.9	30.8	31.5	32.3	32.9	33.6	34.1
45	24.9	26.0	27.1	28.1	29.1	30.1	31.0	31.8	32.6	33.3	33.9	34.5
46	24.9	26.0	27.1	28.2	29.2	30.2	31.2	32.0	32.8	33.5	34.2	34.9
47	25.0	26.1	27.2	28.3	29.4	30.4	31.4	32.3	33.1	33.8	34.5	35.2
48	25.0	26.2	27.3	28.4	29.6	30.6	31.6	32.5	33.4	34.1	34.9	35.5
49	25.0	26.2	27.4	28.5	29.7	30.7	31.8	32.7	33.6	34.4	35.2	35.9
50	25.0	26.2	27.5	28.7	29.8	30.9	32.0	32.9	33.8	34.6	35.4	36.2

Tabla IV.20 Temperatura de bulbo húmedo = 25 'C

ESCALONES DE CAPACIDAD												
TRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30	25.3	25.6	25.9	26.2	26.6	26.8	27.1	27.3	25.7	27.6	27.8	27.9
31	25.3	25.7	26.1	26.5	26.8	27.1	27.4	27.7	27.9	28.1	28.3	28.5
32	25.4	25.8	26.3	26.7	27.1	27.5	27.8	28.1	28.4	28.6	28.8	29.0
33	25.4	25.9	26.4	26.9	27.4	27.8	28.2	28.5	28.8	29.1	29.3	29.6
34	25.5	26.0	26.5	27.1	27.6	28.1	28.5	28.9	29.2	29.5	29.8	30.1
35	25.5	26.1	26.7	27.3	27.9	28.3	28.6	29.2	29.6	29.9	30.2	30.6
36	25.5	26.2	26.8	27.4	28.1	28.6	29.1	29.6	30.0	30.4	30.7	31.0
37	25.6	26.3	26.9	27.6	28.3	28.9	29.4	29.9	30.4	30.8	31.2	31.5
38	25.6	26.3	27.0	27.8	28.5	29.1	29.7	30.2	30.7	31.2	31.6	32.0
39	25.6	26.4	27.2	27.9	28.7	29.3	30.0	30.6	31.1	31.6	32.0	32.4
40	25.7	26.5	27.3	28.1	28.9	29.6	30.3	30.9	31.4	31.9	32.4	32.8
41	25.7	26.6	27.4	28.2	29.0	29.8	30.5	31.1	31.6	32.3	32.8	33.3
42	25.7	26.6	27.5	28.3	29.2	30.0	30.8	31.4	32.1	32.6	33.2	33.7
43	25.7	26.6	27.6	28.5	29.4	30.2	31.0	31.7	32.4	33.0	33.5	34.1
44	25.7	26.7	27.6	28.6	29.5	30.4	31.2	32.0	32.7	33.3	33.9	34.5
45	25.8	26.8	27.7	28.7	29.7	30.6	31.4	32.2	33.0	33.6	34.3	34.8
46	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31.7	32.4	33.2	33.9	34.6	35.2
47	25.8	26.8	27.9	28.9	30.0	30.9	31.8	32.7	33.5	34.2	34.9	35.5
48	25.8	26.9	28.0	29.0	30.1	31.1	32.0	32.9	33.7	34.5	35.2	35.8
49	25.8	26.9	28.1	29.1	30.1	31.2	32.2	33.1	34.0	34.7	35.5	36.2
50	25.8	27.0	28.1	29.2	30.3	31.4	32.4	33.3	34.2	35.0	35.8	36.5

Tabla IV.21 Temperatura de bulbo húmedo = 26 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD

TRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31	26.2	26.6	26.9	27.2	27.5	27.7	28.0	28.2	28.4	28.6	28.7	28.9
32	26.3	26.6	27.0	27.4	27.7	28.1	28.4	28.6	28.8	29.0	29.2	29.4
33	26.3	26.7	27.2	27.6	28.0	28.3	28.7	29.0	29.3	29.5	29.7	29.9
34	26.4	26.8	27.3	27.8	28.1	28.6	29.0	29.4	29.7	29.9	30.2	30.4
35	26.4	26.9	27.4	28.0	28.5	28.9	29.3	29.7	30.1	30.4	30.7	30.9
36	26.4	27.0	27.6	28.1	28.7	29.2	29.7	30.1	30.5	30.8	31.1	31.4
37	26.5	27.1	27.7	28.3	28.9	29.4	30.0	30.4	30.8	31.2	31.6	31.9
38	26.5	27.1	27.8	28.4	29.1	29.7	30.2	30.7	31.2	31.6	32.0	32.3
39	26.5	27.2	27.9	28.6	29.3	29.9	30.5	31.0	31.5	32.0	32.4	32.8
40	26.5	27.3	28.0	28.7	29.5	30.1	30.8	31.3	31.9	32.3	32.6	33.2
41	26.6	27.3	28.1	28.9	29.6	30.3	31.0	31.6	32.2	32.7	33.2	33.6
42	26.6	27.4	28.2	29.0	29.8	30.5	31.3	31.9	32.5	33.0	33.5	34.0
43	26.6	27.4	28.3	29.1	30.0	30.7	31.5	32.2	32.8	33.4	33.9	34.4
44	26.6	27.5	28.3	29.2	30.1	30.9	31.7	32.4	33.1	33.7	34.3	34.8
45	26.6	27.5	28.4	29.3	30.2	31.1	31.9	32.7	33.4	34.0	34.6	35.2
46	26.6	27.6	28.5	29.4	30.4	31.3	32.1	32.9	33.6	34.3	34.9	35.5
47	26.6	27.6	28.6	29.6	30.5	31.4	32.3	33.1	33.9	34.6	35.2	35.8
48	26.7	27.7	28.7	29.7	30.7	31.6	32.5	33.3	34.1	34.8	35.6	36.2
49	26.7	27.7	28.7	29.8	30.8	31.7	32.7	33.5	34.4	35.1	35.8	36.5
50	26.7	27.7	28.8	29.8	30.9	31.9	32.9	33.7	34.6	35.4	36.1	36.8

Tabla IV.22 Temperatura de bulbo húmedo = 27 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD

TRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32	27.2	27.5	27.6	28.1	28.4	28.7	28.9	29.1	29.3	29.5	29.7	29.8
33	27.2	27.6	27.9	28.3	28.7	29.0	29.2	29.5	29.7	29.9	30.1	30.3
34	27.3	27.7	28.1	28.5	28.9	29.2	29.6	29.9	30.1	30.4	30.6	30.8
35	27.3	27.7	28.2	28.6	29.1	29.5	29.9	30.2	30.5	30.8	31.1	31.3
36	27.3	27.8	28.3	28.8	29.3	29.8	30.2	30.6	30.9	31.2	31.5	31.8
37	27.4	27.9	28.4	29.0	29.5	30.0	30.5	30.9	31.3	31.6	31.9	32.2
38	27.4	27.9	28.5	29.1	29.7	30.2	30.8	31.2	31.6	32.0	32.4	32.7
39	27.4	28.0	28.6	29.3	29.9	30.7	31.0	31.5	32.0	32.4	32.8	33.1
40	27.4	28.1	28.7	29.4	30.1	30.9	31.3	31.8	32.2	32.7	33.2	33.7
41	27.4	28.1	28.8	29.5	30.2	31.1	31.5	32.1	32.6	33.1	33.6	34.0
42	27.4	28.2	28.9	29.6	30.4	31.3	31.8	32.4	32.9	33.4	33.9	34.4
43	27.5	28.2	29.0	29.8	30.5	31.4	32.0	32.6	33.2	33.8	34.3	34.8
44	27.5	28.3	29.1	29.9	30.7	31.6	32.2	32.9	33.5	34.1	34.6	35.1
45	27.5	28.3	29.1	30.0	30.8	31.8	32.4	33.1	33.8	34.4	35.0	35.5
46	27.5	28.4	29.2	30.1	31.0	31.9	32.6	33.3	34.1	34.7	35.3	35.9
47	27.5	28.4	29.3	30.2	31.1	32.1	32.8	33.6	34.3	35.0	35.6	36.2
48	27.5	28.4	29.4	30.3	31.2	32.3	33.0	33.8	34.6	35.2	35.9	36.5
49	27.5	28.5	29.4	30.4	31.3	32.3	33.2	34.0	34.8	35.5	36.2	36.8
50	27.5	28.5	29.5	30.5	31.5	32.4	33.3	34.2	35.0	35.7	36.5	37.1

Tabla IV.23 Temperatura de bulbo húmedo = 28 °C

ESCALONES DE CAPACIDAD												
TRI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
33	28.2	28.5	28.7	29.0	29.3	29.6	29.8	30.0	30.2	30.4	30.6	30.7
34	28.2	28.5	28.9	29.2	29.5	29.8	30.1	30.4	30.6	30.8	31.0	31.2
35	28.2	28.6	29.0	29.4	29.8	30.1	30.4	30.7	31.0	31.3	31.5	31.7
36	28.2	28.7	29.1	29.5	30.0	30.3	30.7	31.1	31.4	31.7	31.9	32.2
37	28.3	28.7	29.2	29.7	30.2	30.6	31.0	31.4	31.8	32.1	32.4	32.6
38	28.3	28.8	29.3	29.9	30.3	30.8	31.3	31.7	32.1	32.4	32.6	32.8
39	28.3	28.8	29.4	30.0	30.5	31.0	31.6	32.0	32.4	32.8	33.2	33.5
40	28.3	28.9	29.5	30.1	30.7	31.2	31.8	32.3	32.8	33.2	33.6	33.9
41	28.3	28.9	29.6	30.2	30.9	31.4	32.0	32.6	33.1	33.5	34.0	34.3
42	28.3	29.0	29.6	30.3	31.0	31.6	32.3	32.8	33.4	33.9	34.3	34.8
43	28.4	29.0	29.7	30.4	31.1	31.8	32.5	33.1	33.7	34.2	34.7	35.1
44	28.4	29.1	29.8	30.5	31.3	32.0	32.7	33.3	34.0	34.5	35.0	35.5
45	28.4	29.1	29.8	30.5	31.4	32.2	32.9	33.6	34.2	34.8	35.4	35.9
46	28.4	29.2	29.9	30.7	31.6	32.3	33.1	33.8	34.5	35.1	35.7	36.2
47	28.4	29.2	30.0	30.8	31.7	32.5	33.3	34.0	34.7	35.4	36.0	36.5
48	28.4	29.2	30.1	30.9	31.8	32.6	33.5	34.2	35.0	35.8	36.3	36.9
49	28.4	29.3	30.1	31.0	31.9	32.8	33.7	34.4	35.2	35.9	36.6	37.2
50	28.4	29.3	30.2	31.1	32.0	32.9	33.8	34.6	35.4	36.1	36.8	37.5

IV.3 EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUA.

El agua es la sustancia más utilizada dentro de cualquier industria y aparentemente la más económica de obtener, sin embargo en muchos casos el agua suministrada no reúne las condiciones necesarias para el proceso.

IV.3.1 TIPOS DE EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA.

Los equipos desarrollados dependen básicamente de la impureza que se necesita eliminar del agua. Entre los equipos más importantes se tiene; cloradores, filtros, desmineralizadores, etc.

IV.3.2 CASO DE ESTUDIO. (SUAVISADORES DE AGUA)

Los suavizadores de agua son también importantes en las industrias que necesitan el suministro de agua con un mínimo de impurezas, estos equipos generalmente se encuentran previo a una caldera u otro equipo que requiera el suministro de agua. En base a esta necesidad y como un complemento al capítulo IV.1 (referente a calderas), se desarrolla el siguiente modelo para estimar el costo de suavizadores de agua.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO.

Los equipos aquí tratados se componen de dos tanques metálicos en los cuales se encuentra salmuera y resina, las cantidades de cada una de ellas depende directamente de la capacidad del suavizador. Por consiguiente, las variables que influyen en el costo, están ligadas con las características de los tanques y la capacidad de flujo. Estas variables se presentan en la tabla IV.24

Tabla IV.24. variables que afectan el costo de suavizadores de agua.

DIAMETRO DEL TANQUE DE SALMUERA.
 DIAMETRO DEL TANQUE DE RESINA.
 LONGITUD DEL TANQUE DE SALMUERA.
 LONGITUD DEL TANQUE DE RESINA.
 FLUJO DE AGUA.
 CANTIDAD DE RESINA.
 CANTIDAD DE SALMUERA.

IV.3.3 DESARROLLO DEL MODELO.

Como se menciona anteriormente, las variables seleccionadas corresponden a las características de los tanques, así como la capacidad del suavizador. Las variables diámetros, longitudes y flujo, se tratan por medio de una correlación multivariable que las relaciona con el costo del equipo. Para desarrollar el modelo se utilizaron costos reportados en la tabla IV.25 con sus correspondientes características del equipo.

IV.25 Datos y costos de suavizadores de agua.

TANQUE DE RESINA		TANQUE DE SALMUERA		FLUJO MAX LPM	COSTO		VARIACION %
DIA.	ALT.	DIA.	ALT.		REAL \$	ESTIMADO \$	
0.28	1.22	0.38	0.91	36	3'476,845	3'393,772	2.39
0.28	1.22	0.38	0.91	44	3'897,378	4'078,708	-4.65
0.38	1.22	0.48	0.91	55	4'234,025	4'697,157	-10.94
0.38	1.22	0.48	0.91	58	4'447,050	4'954,008	-11.40
0.38	1.52	0.48	0.91	58	5'146,835	4'409,667	14.32
0.38	1.52	0.48	0.91	70	5'768,252	5'437,071	5.74
0.48	1.52	0.48	1.20	80	6'150,153	6'279,562	-2.10
0.57	1.52	0.48	1.20	100	6'197,614	7'629,648	-23.11
0.57	1.50	0.57	1.20	100	9'259,446	7'737,187	16.44
0.57	1.50	0.57	1.20	120	10'293,669	9'449,527	8.20
0.57	1.50	0.57	1.20	140	11'078,443	11'161,867	-0.75
0.77	1.50	0.77	1.20	160	11'557,475	12'227,530	-5.80
0.77	1.50	0.88	1.20	200	14'667,871	15'739,293	-7.30
0.77	1.50	0.88	1.20	240	21'400,810	19'163,973	10.45
0.90	1.83	1.05	1.20	320	24'171,248	25'025,885	-3.54

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC.

Después de haber realizado la correlación multivariable se encontró la ecuación IV.7 que relaciona las cinco variables (diámetros, longitudes y flujo) con el costo del equipo.

COSTO
 $DEL = A + B \cdot DR + C \cdot HR + D \cdot DS + E \cdot HS + F \cdot FM$
 SUAVISADOR

DONDE: (IV.7)

A : ES UNA CONSTANTE = 2'131,285.3870
 B : ES UNA CONSTANTE = -4'025,046.3753
 C : ES UNA CONSTANTE = -1'814,468.6217
 D : ES UNA CONSTANTE = 791,662.7385
 E : ES UNA CONSTANTE = 1'340,777.8150
 F : ES UNA CONSTANTE = 85,617.0000
 DR : ES DIAMETRO DEL TANQUE DE RESINA EN M
 HR : ES LONGITUD DEL TANQUE DE RESINA EN M
 DS : ES DIAMETRO DEL TANQUE DE SALMUERA EN M
 HS : ES LONGITUD DEL TANQUE DE SALMUERA EN M
 FM : ES FLUJO MAXIMO DE AGUA EN LPM

Con la ecuación IV.7, podemos estimar el costo de suavizadores con solo conocer las dimensiones de los tanques y el flujo máximo de agua. Los resultados de esta ecuación estan en pesos al 31 de diciembre de 1989.

SOPORTE DEL MODELO.

La ecuación resultante en el desarrollo del modelo se soporta en los siguientes parámetros estadísticos:

COEFICIENTE DE REGRESION.	R = 0.98688845
NO DE DATOS.	= 15
ERROR GLOBAL DE LA ECUACION.	= 8.87 %

Además de estos parámetros se tiene una comparación de los valores reales con los valores estimados por la ecuación que se muestran en la tabla IV.25

IV.4 SUBESTACIONES ELECTRICAS

Subestación eléctrica es el conjunto de elementos integrados que transforman, distribuyen y controlan la energía eléctrica proveniente de plantas generadoras, líneas de transmisión o líneas de distribución en alta tensión.

IV.4.1 TIPOS DE SUBESTACIONES ELECTRICAS

Las subestaciones eléctricas se clasifican por su servicio o por su construcción.

POR SU SERVICIO:

A).- SUBESTACION TIPO INTEMPERIE. Estas subestaciones se construyen en terrenos expuestos a la intemperie y requieren de un diseño y equipo especial capaz de soportar, condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve e inclemencias ambientales diversas).

B).- SUBESTACIONES TIPO INTERIOR. En este tipo de subestaciones los componentes están adaptados para operar en lugares protegidos de los cambios climatológicos.

POR SU CONSTRUCCION:

A).- SUBESTACIONES COMPACTAS. También llamadas unitarias, en estas subestaciones el equipo se encuentra protegido por gabinete y el espacio que ocupa es reducido. Pueden construirse para servicio interior o servicio exterior.

B).- SUBESTACIONES CONVENCIONALES. El equipo que se instala en este tipo de subestaciones también llamadas abiertas se coloca en estructura metálica, se aísla tan solo por una malla de alambre, es decir no van en gabinete. Pueden construirse para servicio interior y exterior.

IV.4.2 CASO DE ESTUDIO. (TIPO COMPACTA)

La subestación compacta interior o exterior es una de las más comunes en la industria, esto se debe a las características de construcción, que permite ahorrar espacios de vital importancia donde el terreno es escaso o el costo es alto. Otra de las ventajas permite una mayor seguridad para el personal por la protección del gabinete.

En base a lo expresado en el párrafo anterior y con el fin de obtener un estimado del costo de subestaciones que se presentan con mayor frecuencia en la industria, se desarrolla un modelo en el que involucre sus partes principales.

Antes de iniciar el análisis, se describen los componentes principales que integran una subestación tipo compacta.

DESCRIPCION FUNCIONAL DE LAS SECCIONES QUE INTEGRAN UNA SUBESTACION COMPACTA.

1.- ACOMETIDA.

- Existen dos clases de acometida:

Acometida aérea.- La parte de los conductores de una línea aérea de servicio, comprendida desde las líneas o equipos inmediatos del sistema general de abastecimiento, hasta el primer punto de sujeción de dichos conductores en la propiedad servida.

Acometida subterránea.- La parte de los conductores de una línea subterránea de servicio comprendida desde las líneas o equipos inmediatos del sistema general de abastecimientos hasta el límite de la propiedad servida.

2.- SECCION DE MEDICION.- La sección de medición consta de un gabinete blindado con dimensiones adecuadas según el valor de la tensión, diseñado y provisto para recibir y alojar el equipo de medición de la compañía suministradora. Este gabinete tiene dos puertas con ventana de inspección, de material transparente e inastillable con manija y dispositivo para candado, además:

- a).- Un bus trifásico de cobre electrolítico.
- b).- Un sistema de tierras con capacidad adecuada.
- c).- Conectores de tipo mecánico, tres para el bus principal y uno para conexión a tierra.

3.- SECCION DE CUCHILLA DE PASO Y PRUEBAS.

La sección de cuchillas de paso y pruebas es un gabinete blindado con el equipo adecuado según el valor de la tensión. Este gabinete tiene dos puertas con ventana para inspección y dispositivo para candado y en su parte interior aloja:

a).- Un juego de tres cuchillas trifásicas desconectadoras para operar en grupo sin carga, tiro sencillo con dispositivo de apertura y cierre rápido.

b).- Un juego de tres accionamientos independientes por medio de volante y dispositivo de señalamiento (ABIERTO-CERRADO) y seguro mecánico con portacandado.

c).- Sistema de tierra con capacidad adecuada.
El objeto de esta sección es proporcionar un medio de desconexión visible de la sección de transformación y distribución para efectos de mantenimiento, reposición de fusibles o a la conexión del equipo patrón de medición de la compañía suministradora para comprobar la calibración de los equipos de medición de la propia subestación, sin interrumpir el suministro de energía eléctrica

SECCION DE INTERRUPTOR DE APERTURA CON CARGA Y APARTARRAYOS.

La sección de interruptor, fusibles y apartarrayos, también es un gabinete blindado con dimensiones y equipo adecuado según el valor de la tensión.

El gabinete tiene una puerta con ventana de inspección de vidrio transparente e inastillable y manija con dispositivo de candado y en su interior aloja:

a).- Interruptor de carga de simple apertura servicio interior montaje vertical, 3 polos, operación en grupo por medio de palanca tipo recíprocante, con mecanismo de energía almacenada para la apertura y cierre rápido y disparo simultáneo en las tres fases en caso de operar algún fusible.

b).- Fusibles, tres de potencia.

c).- Juego de tres apartarrayos autovalvulares monopolares con el neutro conectado sólidamente a tierra.

d).- accionamiento por medio de disco y palanca por el frente del tablero para la apertura y cierre manual del cortacircuitos, con bloqueo mecánico el cual impide la apertura de la puerta si el interruptor está en la posición de "CERRADO".

e).- Bus trifásico de cobre electrolítico soportado por medio de aisladores de resina epoxica.

f).- Sistema de tierra con capacidad adecuada.

7.- SECCION DE ACOPLAMIENTO.

Esta sección sin puertas resguarda los buses de conexión de los fusibles de potencia del módulo anterior y los bornes primarios del transformador, conservando las distancias mínimas de Norma

8.- SECCION DE TRANSFORMACION.

Contiene un transformador de distribución o de potencia sumergido en aceite, autoenfriado, tres fases, 60 c.p.s., adecuado para operar a 2300 m.s.n.m. con una elevación de temperatura de 65 °C sobre la del ambiente, 4 derivaciones de (+/-) 2.5% °C en el primario, excepto el de 23 KV, 150 KV BIL, con conexión delta que esta provisto con cinco derivaciones de capacidad plena de 1000v c/u, 1 arriba y 4 abajo de 23 KV.

Con estas derivaciones el transformador puede operar satisfactoriamente.

El devanado secundario es de 220/127 V ó 440/254 V, conexión estrella con el neutro accesible.

Los bornes primarios y secundarios del transformador, iran dentro de una cámara de terminales, para permitir el acoplamiento directo a la subestación y al tablero de baja tensión, o conexión a este ultimo.

Completo con los accesorios normales y aceite aislante necesarios.

Construido cumpliendo con los establecido por las normas ANSI.

9.- SECCION DE BAJA TENSION

Interruptor general de baja tensión.- De navajas o termomagnético en subestaciones con transformadores de 15 KVA y 220/127 V. En subestaciones de 225 a 2500 KVA se instalan los interruptores de potencia en aire tipo h-3.(FPE)

Interruptores derivados de baja tensión.- Pueden ser de navajas, termomagnéticos, arrancadores o centros de control de motores y tableros de alumbrado segun sea necesario.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COSTO.

El costo de una subestacion esta directamente ligado con las siguientes variables.

TIPO DE SUBESTACION.

TENSION PRINCIPAL.

CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR:

TIPO DE TRANSFORMADOR (DE POTENCIA O DISTRIBUCION)

SECO O EN ACEITE.

CAPACIDAD EN KVA

TENSION PRIMARIA EN VOLTS

TENSION SECUNDARIA EN VOLTS

CARACTERISTICAS DE LOS CAPACITORES.

DE ALTA O BAJA TENSION

CANTIDAD DE CAPACITORES QUE INTEGRAN EL BANCO.

CAPACIDAD EN KVAR

TABLERO DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION.

Al referirse al tipo de subestacion se debe definir si es del tipo exterior o interior compacta, lo cual afectara de manera significativa el costo.

Una vez definido el tipo de subestacion es necesario determinar las secciones que la integran, ya que no necesariamente una subestacion tendra todas las secciones (medición, cuchillas de paso y prueba, seccionador y acoplamiento).

Hasta aqui el costo se puede obtener directamente por secciones de acuerdo a la capacidad de la subestacion en KV, sin embargo el costo del transformador se ve influenciado por diversos factores lo mismo que los capacitores. Para el tablero en baja tension el estimar el costo se vuelve mas complicado ya que puede estar formado por diversos elementos sin que tenga un comportamiento común.

IV.4.3 DESARROLLO DEL MODELO.

De acuerdo a lo citado el modelo que se desarrolla para la estimación del costo de subestaciones se divide en tres etapas.

El modelo se desarrollo con valores en pasos al 31 de diciembre de 1990.

Primera etapa.- El costo de la subestacion debido a las secciones que lo conforman, depende unicamente de la capacidad de la subestacion y el servicio interior o exterior, se obtiene de la tabla IV.26 a la IV.29.

Tabla IV.26 Costo por secciones de subestaciones compactas a 13.8 KV servicio interior.

CELDA DE MEDICION	2'994,000
CELDA DE SECCIONADOR	5'608,000
CELDA DE SECCIONADOR CON APARTARRAYOS	6'106,000
CELDA DE CUCHILLA DE PASO	2'141,000
CELDA DE CUCHILLA DE PRUEBA	5'234,000
CELDA DE ACOPLAMIENTO	1'533,000
PLACAS TERMINALES	485,000
FUSIBLES (3) PARA SECCIONADOR	765,000

FUENTE: SIEMENS COTIZACION TELEFONICA.

Tabla IV.27 Costo por secciones de subestaciones compactas a 13.8 KV servicio exterior.

CELDA DE MEDICION	3'534,000
CELDA DE SECCIONADOR	6'500,000
CELDA DE SECCIONADOR CON APARTARRAYOS	8'887,000
CELDA DE CUCHILLA DE PASO	2'314,000
CELDA DE CUCHILLA DE PRUEBA	5'654,000
CELDA DE ACOPLAMIENTO	1'997,000
PLACAS TERMINALES	769,000
FUSIBLES (3) PARA SECCIONADOR	765,000

FUENTE: SIEMENS COTIZACION TELEFONICA.

Tabla IV.28 Costo por secciones de subestaciones compactas a 23 KV servicio interior.

CELDA DE MEDICION	3'391,000
CELDA DE SECCIONADOR	6'793,000
CELDA DE CUCHILLA DE PASO	2'509,000
CELDA DE CUCHILLA DE PRUEBA	6'134,000
CELDA DE ACOPLAMIENTO	1'796,000
PLACAS TERMINALES	568,000
FUSIBLES (3) PARA SECCIONADOR	705,000

FUENTE: SIEMENS COTIZACION TELEFONICA.

Tabla IV.29 Costo por secciones de subestaciones compactas a 23 KV servicio exterior.

CELDA DE MEDICION	4'764,000
CELDA DE SECCIONADOR	8'398,000
CELDA DE CUCHILLA DE PASO	3'054,000
CELDA DE CUCHILLA DE PRUEBA	7'463,000
CELDA DE ACOPLAMIENTO	2'636,000
PLACAS TERMINALES	1'015,000
FUSIBLES (3) PARA SECCIONADOR	705,000

FUENTE: SIEMENS COTIZACION TELEFONICA.

Segunda etapa.-El costo del transformador se obtiene mediante las ecuaciones multivariables resultantes del análisis estadístico, el cual depende del tipo de transformador y las fases a las cuales opera, así como su capacidad y la tensión primaria. Cabe hacer mención que este análisis se divide en tres partes que corresponden a los transformadores de potencia los cuales operan en tres fases y cuyos datos se muestran en la tabla IV.30, mientras que para transformadores de distribución en tres y una fase se muestran en las tablas IV.31. y IV.32 respectivamente.

Tabla IV.30 Datos y resultados de transformadores de potencia.

CAPACIDAD KVA	TENSION PRIMARIA V	COSTO ACTUAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIACION %
150	15,000	26'972,400	22'679,815	15.91
150	23,000	27'784,800	29'055,501	-4.57
225	15,000	30'318,000	27'526,197	9.21
225	23,000	31'576,800	33'901,883	-7.36
150	34,500	33'063,600	38'220,549	-15.60
300	15,000	35'037,600	32'372,580	7.61
300	23,000	36'829,200	38'748,226	-5.21
225	34,500	37'575,600	43'066,932	-14.61
300	34,500	43'826,400	47'913,314	-9.33
500	15,000	48'763,200	45'296,267	7.11
500	23,000	50'576,400	51'671,953	-2.17
500	34,500	60'186,000	60'837,002	-1.08
750	15,000	62'280,000	61'450,876	1.33
750	23,000	65'362,800	67'826,562	-3.77
750	34,500	77'781,600	76'991,611	1.02
1000	15,000	79'994,400	77'605,485	2.99
1000	23,000	82'742,400	83'981,171	-1.50
1250	15,000	97'888,800	93'760,094	4.22
1000	34,500	98'463,600	93'146,220	5.40
1250	23,000	98'931,600	100'135,780	-1.22
1500	23,000	111'172,800	116'290,389	-4.60
1500	15,000	112'273,200	109'914,703	2.10
1250	34,500	117'729,600	109'300,829	7.16
1500	34,500	132'296,400	125'455,438	5.17
2000	15,000	135'832,800	142'223,921	-4.71
2000	23,000	137'204,400	148'599,607	-8.31
2000	34,500	163'273,200	157'764,656	3.37

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC

Tabla IV.31 Datos y resultados de transformadores de distribución, en tres fases.

CAPACIDAD KVA	TENSION PRIMARIA V	COSTO ACTUAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIACION %
15.0	400	5'063,771	4'580,146	9.55
30.0	400	7'695,078	6'189,411	19.57
45.0	400	8'694,125	7'798,677	10.30
75.0	400	11'912,313	11'017,208	7.51
112.5	400	15'920,085	15'040,371	5.53
150.0	400	19'380,554	19'063,535	1.64
225.0	400	30'735,910	27'109,862	11.80
300.0	400	34'151,975	35'156,189	-2.94
500.0	400	50'018,006	56'613,062	-13.19
15.0	13,200	5'663,199	7'652,387	-35.12
30.0	13,200	8'279,062	9'261,653	-11.87
45.0	13,200	10'239,512	10'870,918	-6.17
75.0	13,200	13'586,079	14'089,449	-3.71
112.5	13,200	17'688,447	18'112,613	-2.40
150.0	13,200	21'534,056	22'135,776	-2.79
225.0	13,200	34'151,011	30'182,103	11.62
300.0	13,200	37'946,426	38'228,431	-0.74
500.0	13,200	55'575,026	59'685,303	-7.40
15.0	20,000	8'204,737	9'284,516	-13.16
30.0	20,000	10'363,035	10'893,781	-5.12
45.0	20,000	12'115,018	12'503,046	-3.20
75.0	20,000	16'007,924	15'721,577	1.79
112.5	20,000	20'316,858	19'744,741	2.82
150.0	20,000	24'423,088	23'767,904	2.68
225.0	20,000	35'923,234	31'814,232	11.44
300.0	20,000	41'974,468	39'860,559	5.04
500.0	20,000	61'381,084	61'317,431	0.10
15.0	34,500	8'542,578	12'764,789	-49.43
30.0	34,500	12'446,104	14'374,054	-15.49
45.0	34,500	14'423,928	15'983,320	-10.81
75.0	34,500	18'428,804	19'201,851	-4.19
112.5	34,500	22'944,305	23'225,014	-1.22
150.0	34,500	27'311,156	27'248,178	0.23
225.0	34,500	37'695,457	35'294,505	3.37
300.0	34,500	46'001,546	43'340,832	5.78
500.0	34,500	67'187,142	64'797,705	3.56

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC

Tabla IV.32 Datos y resultados de transformadores de distribución, en una fases.

CAPACIDAD KVA	TENSION PRIMARIA V	COSTO ACTUAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIACION %
10.0	400	4'621,680	4'390,339	5.01
15.0	400	4'864,926	4'896,192	-0.64
25.0	400	5'894,862	5'907,898	-0.22
37.5	400	7'146,808	7'172,531	-0.36
10.0	13,200	5'135,200	4'983,666	2.95
15.0	13,200	5'405,474	5'489,519	-1.55
25.0	13,200	6'549,311	6'501,226	0.73
37.5	13,200	7'941,220	7'765,859	2.21
50.0	13,200	9'136,216	9'030,492	1.16
75.0	13,200	11'680,649	11'559,757	1.03
100.0	13,200	15'147,874	14'089,023	6.99
167.0	13,200	18'730,931	20'867,456	-11.41
200.0	13,200	23'814,972	24'206,087	-1.64
10.0	20,000	5'216,282	5'298,871	-1.58
15.0	20,000	5'491,382	5'804,724	-5.71
25.0	20,000	6'809,931	6'816,431	-0.10
37.5	20,000	7'995,274	8'081,064	-1.07
50.0	20,000	9'643,944	9'345,697	3.09
75.0	20,000	12'323,515	11'874,963	3.64
100.0	20,000	15'980,897	14'404,228	9.87
167.0	20,000	19'761,833	21'182,661	-7.19
200.0	20,000	25'124,835	24'521,292	2.40
10.0	34,000	5'297,364	5'971,000	-12.72
15.0	34,000	5'576,325	6'476,853	-16.15
25.0	34,000	7'071,518	7'488,559	-5.90
37.5	34,000	8'048,364	8'753,192	-8.76
50.0	34,000	10'151,673	10'017,825	1.32
75.0	34,000	12'965,415	12'547,091	3.23
100.0	34,000	16'813,919	15'076,357	10.33
167.0	34,000	20'791,768	21'854,790	-5.11
200.0	34,000	26'434,697	25'193,420	4.70

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC

Una vez realizado el análisis estadístico de los datos anotados en las tablas anteriores se obtienen los siguientes modelos de acuerdo al tipo de transformador.

$$\text{COSTO DEL TRANSFORMADOR} = A + B \cdot \text{KVA} + C \cdot V \quad (\text{IV.8})$$

DONDE:

A : ES UNA CONSTANTE.
 B : ES UNA CONSTANTE.
 C : ES UNA CONSTANTE.
 KVA : ES LA CAPACIDAD.
 V : TENSION PRIMARIA.

A continuación se presenta los valores de las constantes para los tres modelos

	CONSTANTE A	CONSTANTE B	CONSTANTE C
MODELO 1	1'032,638.102	64,618.43597	796.96074
MODELO 2	2'874,873.045	107,284.36240	240.01885
MODELO 3	3'360,091.021	101,170.63570	46.35369

Donde el modelo 1 corresponde a transformadores de potencia en un rango de capacidad de 150 a 2000 kilovatios (KVA). Y a tensiones primarias de 15000, 23000 y 34500 voltios..

El modelo 2 corresponde a transformadores de distribución en tres fases con los siguiente rangos; capacidades de 15 a 500 Kilovatios (KVA) y tensiones primarias de 400 a 34500 voltios (V).

Por ultimo del modelo 3 representa a los transformadores de distribución de una fase en un rango de 10 a 200 Kilovatios (KVA) y tensiones primarias de 400 a 34500 Voltios (V).

SOPORTES DEL MODELO

Las ecuaciones resultantes del análisis estadístico se basan en los siguientes parámetros:

Primero en las tablas IV.(30,31,32) se realiza una comparacion de los costos reales contra los costos estimados por la ecuacion. y segundo por los siguientes parámetros estadísticos.

	COEFICIENTE DE REGRESION	NO DATOS	ERROR GLOBAL %
MODELO 1	0.9935539	27	5.8
MODELO 2	0.9912746	36	8.51
MODELO 3	0.9927018	31	4.48

Tercera etapa.- Esta consiste en estimar el costo de los bancos de capacitores, los cuales pueden considerarse como un equipo adicional dentro de una subestación eléctrica. El costo de estos depende de su capacidad y de la tensión, así pues se desarrollan dos modelos, cuyos datos aparecen reportados en las tablas IV.33 y IV.34 para baja y alta tensión respectivamente.

Tabla IV.33 Datos y resultados de capacitores en baja tensión.

CAPACIDAD KVAR	TENSION VOLTS	COSTO ACTUAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIACION %
12	230	874,260	1'101,964	-26.05
18	230	1'279,152	1'347,187	-5.32
24	230	1'655,856	1'592,411	3.83
30	230	2'069,928	1'837,634	11.22
10	460	423,144	405,849	4.09
15	460	669,600	610,202	8.87
20	460	784,728	814,554	-3.80
25	460	1'040,800	1'018,907	6.59
30	460	1'176,768	1'223,260	-3.95
35	460	1'527,228	1'427,613	6.52
40	460	1'569,456	1'631,965	-3.98
45	460	1'865,700	1'836,318	1.57
50	460	1'961,820	2'040,671	-4.02
55	460	2'280,204	2'245,024	1.54
60	460	2'354,292	2'449,377	-4.04

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC

Tabla IV.34 Datos y resultados de capacitores en alta tensión.

FASES	CAPACIDAD KVAR	TENSION VOLTS	COSTO ACTUAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIACION %
1	50	3000	1'441,368	1'331,713	7.61
1	100	3000	2'397,816	2'184,239	8.91
1	150	3000	3'386,988	3'036,765	10.34
1	200	3000	4'077,432	3'889,291	4.61
1	50	5530	1'384,884	1'379,424	0.39
1	100	5530	2'083,320	2'231,950	-7.13
1	150	5530	3'112,560	3'084,476	0.90
1	200	5530	3'911,328	3'937,002	-0.66
1	50	7580	1'407,024	1'418,083	-0.79
1	100	7580	2'131,056	2'270,609	-6.55
1	150	7580	3'200,364	3'123,134	2.41
1	200	7580	3'996,324	3'975,660	0.52
1	50	10395	1'413,396	1'471,168	-4.09
1	100	10395	2'069,496	2'323,694	-12.28
1	150	10395	3'107,052	3'176,220	-2.23
1	200	10395	4'005,504	4'028,745	-0.58
1	300	10395	6'066,144	5'733,797	5.48
1	50	13840	1'376,460	1'536,133	-11.60
1	100	13840	2'123,064	2'388,659	-12.51
1	150	13840	2'951,316	3'241,185	-9.82
1	200	13840	3'870,396	4'093,711	-5.77
1	300	13840	6'210,864	5'798,763	6.64
1	100	19920	2'679,048	2'503,315	6.56
1	150	19920	3'692,304	3'355,841	9.11
1	200	19920	4'076,676	4'208,367	-3.23
1	300	19920	6'543,180	5'913,419	9.62
3	25	2400	1'853,172	1'585,754	14.43
3	50	2400	2'174,256	2'012,017	7.46
3	75	2400	2'524,392	2'438,280	3.41
3	100	2400	2'721,816	2'864,543	-5.24
3	125	2400	2'965,140	3'290,805	-10.98
3	150	2400	3'730,968	3'717,068	0.37
3	200	2400	4'272,372	4'569,594	-6.96
3	25	4160	1'981,476	1'618,944	18.30
3	50	4160	2'314,224	2'045,207	11.62
3	75	4160	2'570,184	2'471,470	3.84
3	100	4160	2'906,280	2'897,732	0.29
3	125	4160	3'212,784	3'323,995	-3.46
3	150	4160	3'938,220	3'750,258	4.77
3	200	4160	4'366,548	4'602,784	-5.41
3	25	6900	1'888,704	1'670,614	11.55
3	50	6900	2'185,056	2'096,877	4.04
3	75	6900	2'543,940	2'523,140	0.82

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC

Tabla IV.34 Datos y resultados de capacitores en alta tensión. (continuación)

FASES	CAPACIDAD KVAR	TENSION VOLTS	COSTO	COSTO	VARIACION %
			ACTUAL \$	ESTIMADO \$	
3	100	6900	2'867,832	2'949,403	-2.84
3	125	6900	3'146,046	3'375,666	-7.30
3	150	6900	3'696,192	3'801,929	-2.86
3	200	6900	4'294,728	4'654,455	-8.38
3	300	13490	6'455,916	6'483,780	-0.43
3	300	23000	6'797,196	6'663,119	1.97

FUENTE: LISTA DE PRECIOS DE SELMEC

Una vez realizado el análisis estadístico de los datos anotados en las tablas anteriores se obtienen los siguientes modelos de acuerdo a la tensión que estará sujeto el capacitor.

$$\text{COSTO DEL CAPACITOR} = A + B \cdot \text{FASES} + C \cdot \text{KVAR} + D \cdot V \quad (\text{IV.9})$$

DONDE:

- A : ES UNA CONSTANTE.
- B : ES UNA CONSTANTE.
- C : ES UNA CONSTANTE.
- D : ES UNA CONSTANTE.
- FASES : ES NO. DE FASES.
- KVAR : CAPACIDAD.
- V : VOLTS

A continuación se presenta los valores de las constantes para los dos modelos

	CONSTANTE A	CONSTANTE B	CONSTANTE C	CONSTANTE D
MODELO 1	1'225,891.39		40,870.554	-2671.1914
MODELO 2	76,804.81	345,808.99	17,050.516	18.8579

Donde el modelo 1 corresponde a capacitores de baja tensión para un rango de capacidad de 12 a 60 KVAR. Y a tensiones de 230 y 460 voltios.

Y el modelo 2 corresponde a capacitores de alta tensión en una y tres fases con los siguiente rangos; capacidades de 25 a 300 KVAR y tensiones de 2400 a 23000 voltios (V).

SOPORTES DEL MODELO

Las ecuaciones resultantes del análisis estadístico se basan en los siguientes parámetros:

Primero en las tablas IV.(33,34) se realiza una comparación de los costos reales contra los costos estimados por la ecuación IV.9 y segundo por los siguientes parámetros estadísticos.

	COEFICIENTE DE REGRESION	NO DATOS	ERROR GLOBAL %
MODELO 1	0.9842848	15	6.36
MODELO 2	0.9782350	49	5.86

El costo estimado de una subestación tipo compacta se obtiene sumando las tres partes integrantes de este análisis.

Para obtener el costo del tablero en baja tensión se debe sumar los costos individuales de cada una de sus partes integrantes.

V. ANALISIS DE RESULTADOS.

Los modelos presentados en los capítulos precedentes se obtuvieron por medio de un análisis estadístico, con el fin de determinar la relación existente entre el costo de un equipo y sus principales variables de diseño.

La selección de variables que se correlacionan con el costo depende de la relación causal y estadística con el mismo, es decir que las variables utilizadas tienen una estrecha relación con el equipo y que además estadísticamente presentan una correlación aceptable.

En este trabajo se presentan modelos lineales ó linealizables, polinómicos y multivariados, los cuales se utilizaron dependiendo de la correlación existente entre el costo y las variables, empezando por los modelos más simples. El modelo gráfico es otra alternativa en las secciones de agitadores y calderas.

Los parámetros estadísticos utilizados para seleccionar el modelo de estimación de costos son los siguientes: un coeficiente de regresión mayor a 0.96 y un error global de la ecuación menor a 12 %.

Todos los modelos se desarrollaron con valores al 31 de diciembre de 1989, a excepción de los compresores de aire y las torres de enfriamiento, los cuales se desarrollaron al 31 de marzo y 31 de mayo de 1990 respectivamente. La diferencia de las fechas de estudio obedece al retraso de las respuestas a las cotizaciones solicitadas.

VI CONCLUSIONES.

Una vez analizado los resultados del presente trabajo resta concluir lo siguiente:

Este trabajo pretende solucionar el problema de estimar costos de los equipos principales de plantas químicas, para determinar el monto total de la inversión fija.

En base a lo anterior este trabajo esta dirigido a las personas que requieran estimar costos de inversión fija de un proyecto, entre los que se encuentran: el ingeniero de costos de una firma de ingeniería, un valuador industrial, investigadores de mercado, controladores de activo fijo, etc.

La estructura del presente trabajo está enfocada a dar una visión general del campo de estudio, sin embargo cada modelo esta limitado a una área específica, lo que conlleva a conocer las áreas de estudio con posibilidad de desarrollo.

Los modelos presentados anteriormente estan delimitados por cuatro aspectos fundamentales:

1.- En cada capítulo se desarrolla uno ó más modelos para una serie de equipos, los cuales tienen características comunes y por lo tanto el modelo propuesto es válido para equipos con características similares a aquellos con los cuales se desarrolló el modelo.

2.- Los modelos se desarrollaron con valores al 31 de diciembre de 1989, por consiguiente los valores obtenidos a través de de estos modelos corresponderan a dicha fecha. De esta, se excluyen los compresores para manejo de aire y las torres de enfriamiento los cuales se desarrollaron con valores al 31 de marzo y 31 de mayo de 1990 respectivamente.

3.-El costo obtenido por los modelos representa el precio del mercado en pesos M.N. a excepción de los intercambiadores de calor que estan en miles de pesos, puesto en planta ó almacén del fabricante. Este no incluye el impuesto al valor agregado (IVA), transporte e instalación, u otros gastos necesarios para poner en marcha dicho equipo.

4.- El mercado nacional, constituye el marco geográfico en el cual se desarrolla el presente trabajo. Esto es importante en el proceso de actualización de valores, ya que los índices inflacionarios deberan ser por tipo de equipo y que correspondan a un mercado nacional.

Por último cabe mencionar que esta rama de la ingeniería económica ha sido poco desarrollada en nuestro país, siendo un importante campo de estudio en otros países.

VII BIBLIOGRAFIA.

Perry & Chilton " Manual del Ingeniero Químico " 5a Edición, Ed. McGraw-Hill, 1982

Kern, Donald G. "Procesos de Transferencia de Calor", Ed. C.E.C.S.A., 1984.

Richarson Engineering Services. "Process Plant Construccion Estimating Standars". vol 4. (Process equipment).

Ilpes " Guia para la Presentación de Proyectos de Inversión". Ed. SIGLO XXI.

Fonep "Guia para la Formulación de Proyectos". Ed. NAFINSA

Stell G. D. Robert. "Principles and Procedures of Statistics". Mc Graw Hill.

Purohit, G. P. "Chemical Engineering", Cost of double pipe and multitube heat exchangers, part 1, Marzo 4, 1985, pag 93-96.

Mulet, Corripio and Lawrence. "Chemical Engineering", Estimate of pressure vessels via correlation, octubre 5, 1981, pag 145-150.

Slavsky & Klumpar. "Chemical Engineering", Updated cost factors: process equipment, part 1, Julio 22, 1985, pag. 73-75.

Slavsky & Klumpar. "Chemical Engineering", Updated cost factors: commodity materials, part 2, Agosto 19, 1985, pag. 76-77.

Slavsky & Klumpar. "Chemical Engineering", Updated cost factors: installation labor, part 3, Septiembre 16, 1985.

Pikulk & Diaz "Chemical Engineering"; Cost estimating for mayor process equipment, octubre 10 1977, pag. 107-122.

Hall, Vatavuk & Matley "Chemical Engineering"; Estimating process equipment cost, Noviembre 21 1988 pag. 66-75.

Fonep.- Revista FONEP No. 126; Modelo programático de congruencia del proceso de inversión, abril 1987 pag. 15-17.

Profinsa.- Catálogo de aceros, Guadalajara, Jal.

Sviropo.- Catálogo de tanques, división Svirotank.

Mycom.- Manual de servicio para compresores de refrigeración y aire acondicionado, Mayekawa de México, S.A. DE C.V.

Ingersoll Rand.- Catálogo de compresores de aire

Sentinel.- Catálogo de bombas centrifugas.

Marley.- Catálogo de torres de enfriamiento.

Flakt.- Catálogo de torres de enfriamiento.

VIII APENDICE.

COMPRESORES PARA REFRIGERACION AMONIACO Y FREON

VALORES AL 31 DICIEMBRE DE 1989

MOD.	MARCA	TEMP SUCC. °C	BHP	LN(BHP)	LN(\$)	COSTO ACTUAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIA- CION %
N-2A	MYCOM	-30	8.7	2.163	16.656	17,116,112	16,666,221	-8.47%
N-2A	MYCOM	-25	9.9	2.293	16.656	17,116,112	16,659,937	-3.28%
N-2A	MYCOM	-20	11	2.398	16.656	17,116,112	17,326,279	1.23%
N-2A	MYCOM	-15	12.2	2.501	16.656	17,116,112	16,113,926	5.83%
N-2A	MYCOM	-10	13	2.565	16.656	17,116,112	16,614,696	3.78%
N-2A	MYCOM	-5	13.7	2.617	16.656	17,116,112	19,028,629	11.23%
N-2A	MYCOM	0	14.1	2.646	16.656	17,116,112	19,275,342	12.62%
N-2A	MYCOM	5	14.1	2.646	16.656	17,116,112	19,275,342	12.62%
N-4A	MYCOM	-30	17.3	2.811	16.968	23,390,376	21,044,626	-10.03%
N-4A	MYCOM	-25	19.8	2.936	16.968	23,390,376	22,300,270	-4.66%
N-4A	MYCOM	-20	22.1	3.096	16.968	23,390,376	22,377,734	-0.65%
N-4A	MYCOM	-15	24.4	3.195	16.968	23,390,376	24,392,933	4.29%
N-4A	MYCOM	-10	26.1	3.262	16.968	23,390,376	25,108,641	7.35%
N-4A	MYCOM	-5	27.5	3.314	16.968	23,390,376	25,678,209	9.78%
N-4A	MYCOM	0	28.3	3.343	16.968	23,390,376	25,996,424	11.14%
N-4A	MYCOM	5	28.3	3.343	16.968	23,390,376	25,996,424	11.14%
N-6A	MYCOM	-30	26	3.258	17.202	29,574,092	28,067,290	-15.24%
N-6A	MYCOM	-25	29.8	3.295	17.202	29,574,092	26,579,338	-10.13%
N-6A	MYCOM	-20	33.3	3.566	17.202	29,574,092	27,805,329	-6.98%
N-6A	MYCOM	-15	36.5	3.597	17.202	29,574,092	28,997,535	-1.95%
N-6A	MYCOM	-10	39.1	3.656	17.202	29,574,092	29,867,028	0.99%
N-6A	MYCOM	-5	41.1	3.716	17.202	29,574,092	30,512,563	3.18%
N-6A	MYCOM	0	42.3	3.748	17.202	29,574,092	30,893,049	4.46%
N-6A	MYCOM	5	42.5	3.750	17.202	29,574,092	30,955,681	4.67%
N-8A	MYCOM	-30	34.7	3.547	17.356	34,467,193	30,074,669	-13.63%
N-8A	MYCOM	-25	39.7	3.681	17.356	34,467,193	30,062,968	-12.78%
N-8A	MYCOM	-20	44.2	3.789	17.356	34,467,193	31,481,387	-8.66%
N-8A	MYCOM	-15	48.5	3.884	17.356	34,467,193	32,790,623	-4.86%
N-8A	MYCOM	-10	52.3	3.957	17.356	34,467,193	33,840,092	-1.82%
N-8A	MYCOM	-5	54.9	4.006	17.356	34,467,193	34,552,423	0.25%
N-8A	MYCOM	0	56.4	4.032	17.356	34,467,193	34,954,651	1.41%
N-8A	MYCOM	5	56.6	4.036	17.356	34,467,193	35,007,818	1.57%
N-4B	MYCOM	-30	42.8	3.757	17.402	36,122,297	31,049,313	-14.04%
N-4B	MYCOM	-25	48.9	3.890	17.402	36,122,297	32,877,378	-8.98%
N-4B	MYCOM	-20	54.5	3.998	17.402	36,122,297	34,444,106	-4.65%
N-4B	MYCOM	-15	60	4.094	17.402	36,122,297	35,895,739	-0.63%
N-4B	MYCOM	-10	64.3	4.164	17.402	36,122,297	36,978,515	2.37%
N-4B	MYCOM	-5	67.7	4.215	17.402	36,122,297	37,805,721	4.66%
N-4B	MYCOM	0	69.6	4.242	17.402	36,122,297	38,287,699	5.91%
N-4B	MYCOM	5	69.7	4.244	17.402	36,122,297	38,281,290	5.98%
N-6B	MYCOM	-30	66.1	4.180	17.561	42,325,497	36,929,086	-12.75%
N-6B	MYCOM	-25	73.4	4.296	17.561	42,325,497	39,140,962	-7.52%
N-6B	MYCOM	-20	81.7	4.402	17.561	42,325,497	40,983,409	-3.17%
N-6B	MYCOM	-15	89.9	4.499	17.561	42,325,497	42,701,472	0.89%
N-6B	MYCOM	-10	96.5	4.570	17.561	42,325,497	44,020,326	4.00%
N-6B	MYCOM	-5	101.4	4.619	17.561	42,325,497	44,966,517	6.24%

COMPRESORES PARA REFRIGERACION AMONIACO Y FREON

VALORES AL 31 DICIEMBRE DE 1989

MOD.	MARCA	TEMP SUCC °C	BHP	LN(BHP)	LN(3)	COSTO ACTUAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIA- CION %
N-6B	MYCOM	0	104.4	4.649	17.561	42,325,497	45,532,981	7.58%
N-6B	MYCOM	5	104.5	4.649	17.561	42,325,497	45,551,703	7.62%
N-8B	MYCOM	-30	85.4	4.447	17.677	47,515,463	41,770,266	-12.09%
N-8B	MYCOM	-25	97.8	4.583	17.677	47,515,463	44,273,986	-6.82%
N-8B	MYCOM	-20	109.9	4.690	17.677	47,515,463	46,365,528	-2.42%
N-8B	MYCOM	-15	119.9	4.787	17.677	47,515,463	48,321,331	1.70%
N-8B	MYCOM	-10	128.6	4.857	17.677	47,515,463	49,798,739	4.80%
N-8B	MYCOM	-5	135.3	4.907	17.677	47,515,463	50,893,564	7.11%
N-8B	MYCOM	0	139.1	4.935	17.677	47,515,463	51,503,445	6.39%
N-8B	MYCOM	5	139.4	4.937	17.677	47,515,463	51,551,108	9.44%
F-2A	MYCOM	-30	9.5	2.251	16.686	17,639,922	16,269,271	-7.77%
F-2A	MYCOM	-25	11	2.398	16.686	17,639,922	17,328,279	-1.78%
F-2A	MYCOM	-20	12.2	2.501	16.686	17,639,922	18,117,926	2.69%
F-2A	MYCOM	-15	13.3	2.589	16.686	17,639,922	18,797,939	6.56%
F-2A	MYCOM	-10	14.3	2.660	16.686	17,639,922	19,392,262	9.93%
F-2A	MYCOM	-5	15.3	2.728	16.686	17,639,922	19,893,314	13.17%
F-2A	MYCOM	0	16	2.773	16.686	17,639,922	20,350,475	15.37%
F-2A	MYCOM	5	16.5	2.802	16.686	17,639,922	20,621,134	16.90%
F-4A	MYCOM	-30	19	2.924	16.997	24,073,509	21,908,849	-8.99%
F-4A	MYCOM	-25	21.8	3.082	16.997	24,073,509	23,240,946	-3.46%
F-4A	MYCOM	-20	24.3	3.190	16.997	24,073,509	24,349,959	1.15%
F-4A	MYCOM	-15	26.5	3.277	16.997	24,073,509	25,273,147	4.98%
F-4A	MYCOM	-10	28.7	3.357	16.997	24,073,509	26,153,558	8.64%
F-4A	MYCOM	-5	30.6	3.421	16.997	24,073,509	26,893,292	11.67%
F-4A	MYCOM	0	31.9	3.463	16.997	24,073,509	27,367,956	13.68%
F-4A	MYCOM	5	33	3.497	16.997	24,073,509	27,769,340	15.35%
F-6A	MYCOM	-30	27.2	3.303	17.230	30,394,766	28,557,656	-15.91%
F-6A	MYCOM	-25	31.2	3.440	17.230	30,394,766	27,108,460	-10.81%
F-6A	MYCOM	-20	34.7	3.547	17.230	30,394,766	29,374,669	-6.65%
F-6A	MYCOM	-15	38.1	3.640	17.230	30,394,766	29,536,637	-2.82%
F-6A	MYCOM	-10	41	3.714	17.230	30,394,766	30,461,764	0.29%
F-6A	MYCOM	-5	43.7	3.777	17.230	30,394,766	31,327,484	3.07%
F-6A	MYCOM	0	45.7	3.822	17.230	30,394,766	31,938,743	5.07%
F-6A	MYCOM	5	47.3	3.857	17.230	30,394,766	32,411,106	6.63%
F-8A	MYCOM	-30	35.5	3.570	17.383	35,439,165	28,653,720	-19.15%
F-8A	MYCOM	-25	40.7	3.705	17.383	35,439,165	30,398,799	-14.26%
F-8A	MYCOM	-20	45.3	3.813	17.383	35,439,165	31,815,424	-10.23%
F-8A	MYCOM	-15	49.7	3.906	17.383	35,439,165	33,107,252	-6.58%
F-8A	MYCOM	-10	53.6	3.982	17.383	35,439,165	34,199,722	-3.50%
F-8A	MYCOM	-5	57.1	4.045	17.383	35,439,165	35,140,269	-0.84%
F-8A	MYCOM	0	59.6	4.088	17.383	35,439,165	35,793,794	1.00%
F-8A	MYCOM	5	61.8	4.124	17.383	35,439,165	36,354,212	2.58%
F-4B	MYCOM	-30	47.2	3.854	17.433	37,257,029	32,381,667	-13.09%
F-4B	MYCOM	-25	53.5	3.960	17.433	37,257,029	34,171,313	-8.28%
F-4B	MYCOM	-20	59.5	4.066	17.433	37,257,029	35,766,997	-4.00%
F-4B	MYCOM	-15	65.3	4.179	17.433	37,257,029	37,224,353	-0.09%

COMPRESORES PARA REFRIGERACION AMONIACO Y FREON

VALORES AL 31 DICIEMBRE DE 1989

MOD.	MARCA	TEMP SUCC °C	BHP	LN(BHP)	LN(\$)	COSTO ACTUAL \$	COSTO ESTIMADO \$	VARIA- CION %
F-4B	MYCOM	-10	70.5	4.256	17.433	37,257,029	38,469,332	3.25%
F-4B	MYCOM	-5	75	4.217	17.433	37,257,029	39,505,046	6.03%
F-4B	MYCOM	0	79.2	4.211	17.433	37,257,029	40,342,217	8.01%
F-4B	MYCOM	5	81.1	4.296	17.433	37,257,029	40,953,907	9.65%
F-6B	MYCOM	-30	89.1	4.211	17.590	43,575,995	37,901,478	-13.02%
F-6B	MYCOM	-25	87.2	4.246	17.590	43,575,995	39,999,499	-9.21%
F-6B	MYCOM	-20	85.9	4.257	17.590	43,575,995	41,875,095	-3.90%
F-6B	MYCOM	-15	84.2	4.255	17.590	43,575,995	43,566,750	-0.02%
F-6B	MYCOM	-10	101.8	4.623	17.590	43,575,995	45,042,592	3.37%
F-6B	MYCOM	-5	103.4	4.626	17.590	43,575,995	46,274,004	6.19%
F-6B	MYCOM	0	113.2	4.729	17.590	43,575,995	47,142,921	8.19%
F-6B	MYCOM	5	117.1	4.767	17.590	43,575,995	47,633,552	9.77%
F-8B	MYCOM	-20	88.4	4.632	17.706	48,919,550	42,394,699	-13.34%
F-8B	MYCOM	-25	100.4	4.609	17.706	48,919,550	44,775,574	-8.47%
F-8B	MYCOM	-20	111.8	4.715	17.706	48,919,550	46,855,660	-4.22%
F-8B	MYCOM	-15	122.5	4.809	17.706	48,919,550	48,769,491	-0.31%
F-8B	MYCOM	-10	132.1	4.892	17.706	48,919,550	50,374,191	2.97%
F-8B	MYCOM	-5	149.7	4.957	17.706	48,919,550	51,756,976	5.90%
F-8B	MYCOM	0	145.9	4.990	17.706	48,919,550	52,724,189	7.78%
F-8B	MYCOM	5	152.1	5.035	17.706	48,919,550	53,517,582	9.40%

Salida de Regresión POTENCIAL

Constante	15.63816506
Err Std de Y Est	0.084745997
R al Cuadrado	0.934684122
No. de Observaciones	112
Grados de Libertad	110
Coefficiente de Regresión	0.956464754
Coefficiente(s) X	0.429363987
Err Std de Coef.	0.0108777
Err Global de la Ecuación	6.93%

CORRELACION PARA MOTORES ASEA

POLOS	HP (HP2)		RPM	COSTO		VARIACION
				REAL	ESTIMADO	
2	0.5	0.25	3410	692,340	757,270	9.38%
2	0.75	0.5625	3400	907,830	816,896	-10.02%
2	1	1	1725	922,350	876,492	-4.97%
2	1.5	2.25	3500	999,250	995,590	-0.27%
2	2	4	3510	1,097,910	1,114,586	1.52%
2	3	9	3460	1,245,460	1,352,210	9.19%
2	5	25	3500	1,507,110	1,806,067	21.16%
2	7.5	56.25	3410	2,159,530	2,415,759	11.92%
2	10	100	3500	2,928,640	3,002,533	2.52%
2	15	225	3515	4,282,720	4,167,330	-2.69%
2	20	400	3500	5,429,720	5,320,457	-1.95%
2	25	625	3490	6,769,810	6,461,916	-4.38%
2	30	900	3500	7,417,850	7,591,705	2.34%
2	40	1600	3530	9,120,430	9,216,275	1.06%
2	50	2500	3520	11,452,760	11,994,169	4.73%
2	60	3600	3510	14,581,420	14,125,385	-3.79%
4	0.25	0.0625	1610	616,000	729,039	18.35%
4	0.5	0.25	1635	654,610	778,516	18.93%
4	0.75	0.5625	1710	783,530	828,050	5.68%
4	1	1	1725	947,770	877,642	-7.52%
4	1.5	2.25	1715	967,560	976,996	0.98%
4	2	4	1685	1,081,410	1,076,585	-0.45%
4	3	9	1730	1,215,610	1,276,448	5.00%
4	5	25	1715	1,440,890	1,678,938	16.52%
4	7.5	56.25	1745	2,112,660	2,187,228	3.53%
4	10	100	1735	2,634,280	2,701,272	2.54%
4	15	225	1740	3,870,460	3,746,625	-3.20%
4	20	400	1740	5,805,470	4,814,996	-17.06%
4	25	625	1735	6,552,480	5,906,382	-9.86%
4	30	900	1735	7,200,490	7,020,786	-2.50%
4	40	1600	1750	8,331,950	9,318,645	11.84%
4	50	2500	1760	11,119,350	11,708,574	5.30%
4	60	3600	1755	14,253,030	14,190,571	-0.44%
4	75	5625	1750	18,415,941	18,086,197	-1.79%
6	0.5	0.25	1140	1,128,820	837,755	-25.78%
6	0.75	0.5625	1150	1,156,990	942,737	-18.52%
6	1	1	1130	1,256,950	1,047,390	-16.80%
6	1.5	2.25	1140	1,422,080	1,255,710	-11.70%
6	2	4	1160	1,590,160	1,462,715	-8.01%
6	3	9	1160	1,721,060	1,872,762	8.82%
6	5	25	1145	2,160,760	2,677,137	27.44%
6	7.5	56.25	1140	3,274,480	3,652,999	11.56%
6	10	100	1140	4,106,300	4,595,991	11.93%
6	15	225	1160	6,021,620	6,383,367	6.01%
6	20	400	1155	9,037,050	8,039,265	-11.04%
6	25	625	1160	9,830,810	9,563,685	-2.72%
6	30	900	1150	10,802,110	10,956,628	1.43%
6	40	1600	1160	13,185,040	13,348,078	1.24%

CORRELACION PARA MOTORES ASEA

POLOS	HP (HP*2)		RPM	COSTO		VARIACION
				REAL	ESTIMADO	
8	0.25	0.1225	850	11.466.080		
8	0.75	0.5625	810	1.527.460		
8	1	1	855	1.618.100		
8	1.5	2.25	820	1.817.310		
8	2	4	825	2.069.760		
8	3	9	845	2.317.810		
8	5	25	855	2.742.850		
8	7.5	56.25	850	4.551.140		
8	10	100	860	5.685.240		
8	15	225	860	8.315.890		
8	20	400	865	12.485.440		
8	25	625	865	13.106.830		
8	30	900	865	15.417.600		

Salida de Regresión: Para motores de 2 polos

Constante	637931.6
Err Std de Y Est	450400.4
R al Cuadrado	0.990647
No. de Observaciones	16
Grados de Libertad	11
Coefficiente de Regresión	0.995312
Coefficiente(s) X	126793.9 -233.364
Err Std de Coef.	20982.30 376.9618
Err Global de la Ecuación	6.95%

Salida de Regresión: Para motores de 4 polos

Constante	679619.5
Err Std de Y Est	345797.5
R al Cuadrado	0.993680
No. de Observaciones	19
Grados de Libertad	15
Coefficiente de Regresión	0.996811
Coefficiente(s) X	197561.9 360.3682
Err Std de Coef.	17617.99 240.9049
Err Global de la Ecuación	7.38%

Salida de Regresión: Para motores de 6 polos

Constante	626805.2
Err Std de Y Est	447805.4
R al Cuadrado	0.990437
No. de Observaciones	14
Grados de Libertad	11
Coefficiente de Regresión	0.995127
Coefficiente(s) X	423214.1 -2629.85
Err Std de Coef.	33525.11 904.6676
Err Global de la Ecuación	11.64%

Salida de Regresión: Para motores de 8 polos

Constante	3121534.
Err Std de Y Est	2907501
R al Cuadrado	0.712847
No. de Observaciones	13
Grados de Libertad	10
Coefficiente(s) X	183461.9 8651.240
Err Std de Coef.	325769.9 11372.46

CORRELACION PARA MOTORES IEM

POLOS	HP (HP*2)		RPM	COSTO		VARIACION
				REAL	ESTIMADO	
2	0.5	0.25	3600	1.216.000	1.297.206	14.90%
2	0.75	0.5625	3600	1.282.000	1.452.358	13.76%
2	1	1	3600	1.403.000	1.519.542	9.31%
2	1.5	2.25	3600	1.672.000	1.642.005	0.61%
2	2	4	3600	1.827.000	1.764.595	-3.42%
2	3	9	3600	2.179.000	2.010.156	-8.02%
2	5	25	3600	2.590.000	2.502.800	-3.37%
2	7.5	56.25	3600	2.701.000	3.121.462	15.57%
2	10	100	3600	3.393.000	3.743.296	10.32%
2	15	225	3600	4.495.000	4.995.884	0.01%
2	20	400	3600	7.519.000	5.242.275	-16.71%
2	25	625	3600	8.409.000	7.546.955	-10.32%
2	30	900	3600	9.826.000	8.832.030	0.07%
2	40	1600	3600	10.768.000	11.452.861	6.26%
2	50	2500	3600	13.469.000	14.124.270	4.67%
2	60	3600	3600	16.134.000	16.846.466	1.99%
2	75	5625	3600	21.536.000	21.024.961	-2.37%
4	0.5	0.25	1800	1.178.000	1.223.825	12.36%
4	0.75	0.5625	1800	1.265.000	1.385.554	9.53%
4	1	1	1800	1.375.000	1.447.509	5.27%
4	1.5	2.25	1800	1.601.000	1.571.495	-1.84%
4	2	4	1800	1.791.000	1.595.584	-5.33%
4	3	9	1800	2.096.000	1.944.071	-7.34%
4	5	25	1800	2.486.867	2.462.278	-1.79%
4	7.5	56.25	1800	2.650.000	3.067.349	15.75%
4	10	100	1800	3.318.000	3.644.991	11.03%
4	15	225	1800	4.899.000	4.957.924	1.20%
4	20	400	1800	7.377.000	6.231.266	-15.53%
4	25	625	1800	8.247.000	7.514.506	-9.89%
4	30	900	1800	8.656.000	8.608.640	1.76%
4	40	1600	1800	10.559.000	11.427.142	8.22%
4	50	2500	1800	14.091.445	14.036.762	-0.04%
4	60	3600	1800	16.448.000	16.787.501	2.06%
4	75	5625	1800	21.252.000	20.915.705	-1.58%
6	0.5	0.25	1200	1.848.864	1.737.102	-6.04%
6	0.75	0.5625	1200	1.894.996	1.852.189	-2.26%
6	1	1	1200	2.062.000	1.966.965	-4.61%
6	1.5	2.25	1200	2.400.000	2.195.582	-8.52%
6	2	4	1200	2.686.000	2.422.353	-9.79%
6	3	9	1200	3.148.000	2.873.959	-8.71%
6	5	25	1200	3.807.000	3.761.023	-1.21%
6	7.5	56.25	1200	3.957.000	4.841.826	22.36%
6	10	100	1200	4.991.000	5.691.488	16.04%
6	15	225	1200	7.350.000	7.897.389	7.45%
6	20	400	1200	11.060.000	9.778.727	-11.58%
6	25	625	1200	11.953.000	11.635.500	-3.49%
6	30	900	1200	12.982.000	13.167.710	1.42%
6	40	1600	1200	15.840.000	16.058.438	1.38%

Salida de Regresion: Para motores de 2 polos
 Constante 1274997.
 Err Std de Y Est 534194.0
 R al Cuadrado 0.992239
 No_ de Observaciones 17
 Grados de Libertad 14
 Coeficiente de Regresion 0.996614
 Coeficiente(s) X 244291.2 255.8850
 Err Std de Coef 19201.90 282.0110
 Err Global de la Ecuacion 6.996

Salida de Regresion: Para motores de 4 polos
 Constante 1199843.
 Err Std de Y Est 481305.5
 R al Cuadrado 0.994504
 No_ de Observaciones 17
 Grados de Libertad 14
 Coeficiente de Regresion 0.997028
 Coeficiente(s) X 247450.7 205.8915
 Err Std de Coef 17390.09 254.0901
 Err Global de la Ecuacion 6.445

Salida de Regresion: Para motores de 6 polos
 Constante 1505992.
 Err Std de Y Est 603232.0
 R al Cuadrado 0.986650
 No_ de Observaciones 14
 Grados de Libertad 11
 Coeficiente de Regresion 0.993102
 Coeficiente(s) X 463462.1 -2491.27
 Err Std de Coef 45161.17 1218.668
 Err Global de la Ecuacion 7.635

CORRELACION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

FLUJO L/S	LN DE L/S	LN ESC	ESCALON DE CAPAC.	LN COSTO	COSTO MILES \$	MOD.	ESTIMADO	VARIA CION
1.5	0.41	1.63	5.1	3.33	4.163	10616	3,502	-13.47%
2.0	0.69	2.01	7.5	3.33	4.163	10616	3,771	-9.40%
2.5	0.92	2.28	9.9	3.33	4.163	10616	3,957	-4.96%
2.6	0.96	2.33	10.3	3.33	4.163	10616	3,986	-4.26%
1.5	0.41	1.39	4.0	3.59	5.385	10619	3,966	-26.34%
2.0	0.69	1.79	6.0	3.59	5.385	10619	4,120	-23.50%
2.5	0.92	2.10	8.0	3.59	5.385	10619	4,246	-21.15%
3.0	1.10	2.40	11.0	3.59	5.385	10619	4,286	-20.40%
3.2	1.16	2.46	12.0	3.59	5.385	10619	4,200	-19.60%
2.7	0.99	1.25	3.5	3.78	6.495	10916	6,275	-1.39%
3.0	1.10	1.44	4.2	3.78	6.495	10916	6,278	-1.34%
3.5	1.25	1.67	5.3	3.78	6.495	10916	6,368	-1.96%
4.0	1.39	1.94	6.3	3.78	6.495	10916	6,520	0.39%
4.5	1.50	2.00	7.4	3.78	6.495	10916	6,636	2.16%
5.0	1.61	2.14	8.5	3.78	6.495	10916	6,755	4.00%
5.8	1.76	2.33	10.3	3.78	6.495	10916	6,935	6.77%
1.8	0.89	0.00	1.0	3.90	7.308	10919	7,792	6.63%
2.0	0.69	0.24	1.4	3.90	7.308	10919	7,334	0.36%
2.5	0.92	0.83	2.3	3.90	7.308	10919	7,007	-3.84%
3.0	1.10	1.35	3.5	3.90	7.308	10919	6,748	-7.66%
3.5	1.25	1.50	4.5	3.90	7.308	10919	6,794	-7.05%
4.0	1.39	1.69	5.4	3.90	7.308	10919	6,931	-5.16%
4.5	1.50	1.86	6.4	3.90	7.308	10919	7,029	-3.82%
5.0	1.61	1.99	7.3	3.90	7.308	10919	7,175	-1.92%
6.0	1.79	2.23	9.3	3.90	7.308	10919	7,392	1.16%
7.0	1.95	2.44	11.3	3.90	7.308	10919	7,554	3.43%
7.2	1.97	2.46	12.0	3.90	7.308	10919	7,578	3.70%
4.8	1.57	1.25	3.5	4.04	8.462	11216	9,336	10.31%
5.0	1.61	1.31	3.7	4.04	8.462	11216	9,392	10.99%
6.0	1.79	1.59	4.9	4.04	8.462	11216	9,530	12.62%
7.0	1.95	1.81	6.1	4.04	8.462	11216	9,718	14.85%
8.0	2.08	2.00	7.4	4.04	8.462	11216	9,871	16.65%
9.0	2.20	2.14	8.5	4.04	8.462	11216	10,135	19.77%
10.0	2.30	2.29	9.9	4.04	8.462	11216	10,261	21.25%
10.3	2.33	2.33	10.3	4.04	8.462	11216	10,309	21.83%
3.3	1.19	0.00	1.0	4.16	9.493	11219	11,641	24.73%
3.5	1.25	0.18	1.2	4.16	9.493	11219	11,472	20.85%
4.0	1.39	0.59	1.8	4.16	9.493	11219	10,712	12.84%
4.5	1.50	0.83	2.3	4.16	9.493	11219	10,544	11.07%
5.0	1.61	1.05	2.9	4.16	9.493	11219	10,344	8.97%
6.0	1.79	1.39	4.0	4.16	9.493	11219	10,328	9.79%
7.0	1.95	1.65	5.2	4.16	9.493	11219	10,352	9.06%
8.0	2.08	1.86	6.4	4.16	9.493	11219	10,456	10.14%
9.0	2.20	2.01	7.5	4.16	9.493	11219	10,650	12.19%
10.0	2.30	2.16	8.7	4.16	9.493	11219	10,800	13.76%
11.0	2.40	2.29	9.9	4.16	9.493	11219	10,958	15.44%
12.0	2.48	2.40	11.0	4.16	9.493	11219	11,161	17.57%
12.7	2.54	2.48	12.0	4.16	9.493	11219	11,213	18.12%

CORRELACION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

FLUJO LN L/S	LN L/S	LN ESC	ESCALON DE CAPAC.	LN COSTO	COSTO MILEN \$	MOD.	ESTIMADO	VARIA CION
7.6	2.03	1.25	3.5	9.39	11,923	11816	12,819	7.52%
8.0	2.08	1.34	3.8	9.39	11,923	11816	12,855	7.92%
9.0	2.20	1.53	4.6	9.39	11,923	11816	12,927	8.42%
10.0	2.30	1.70	5.5	9.39	11,923	11816	12,952	8.61%
11.0	2.40	1.81	6.1	9.39	11,923	11816	12,977	8.75%
12.0	2.48	1.95	7.0	9.39	11,923	11816	13,000	8.87%
13.0	2.56	2.04	7.7	9.39	11,923	11816	13,022	8.97%
14.0	2.64	2.13	8.4	9.39	11,923	11816	13,044	9.06%
15.0	2.71	2.23	9.3	9.39	11,923	11816	13,065	9.15%
16.1	2.78	2.33	10.2	9.39	11,923	11816	13,082	9.22%
5.2	1.65	0.00	1.0	9.59	14,615	11819	16,207	10.89%
6.0	1.79	0.41	1.5	9.59	14,615	11819	15,234	9.25%
7.0	1.95	0.83	2.3	9.59	14,615	11819	14,304	-6.13%
8.0	2.08	1.10	3.0	9.59	14,615	11819	14,112	-3.50%
9.0	2.20	1.34	3.8	9.59	14,615	11819	13,944	-4.59%
10.0	2.30	1.50	4.5	9.59	14,615	11819	14,024	-4.04%
11.0	2.40	1.65	5.2	9.59	14,615	11819	14,104	-3.23%
12.0	2.48	1.79	6.0	9.59	14,615	11819	14,191	-2.90%
13.0	2.56	1.90	6.7	9.59	14,615	11819	14,256	-1.77%
14.0	2.64	2.00	7.4	9.59	14,615	11819	14,326	-0.61%
15.0	2.71	2.10	8.2	9.59	14,615	11819	14,427	0.08%
17.0	2.83	2.26	9.6	9.59	14,615	11819	14,491	2.50%
20.0	3.00	2.48	12.0	9.59	14,615	11819	15,341	4.97%
11.0	2.40	1.25	3.5	9.76	17,266	11816	16,546	-3.17%
12.0	2.48	1.39	4.0	9.76	17,266	11816	16,665	-2.48%
13.0	2.56	1.53	4.6	9.76	17,266	11816	16,667	-3.49%
14.0	2.64	1.65	5.2	9.76	17,266	11816	16,706	-3.25%
15.0	2.71	1.76	5.8	9.76	17,266	11816	16,776	-1.81%
17.0	2.83	1.92	6.8	9.76	17,266	11816	17,175	-0.53%
20.0	3.00	2.14	9.5	9.76	17,266	11816	17,589	1.86%
23.0	3.14	2.33	10.3	9.76	17,266	11816	17,949	3.96%
7.5	2.01	0.00	1.0	9.86	19,231	11819	20,969	8.52%
8.0	2.08	0.26	1.3	9.86	19,231	11819	19,665	2.26%
9.0	2.20	0.59	1.8	9.86	19,231	11819	18,750	-2.50%
10.0	2.30	0.83	2.3	9.86	19,231	11819	18,296	-4.85%
11.0	2.40	0.99	2.7	9.86	19,231	11819	18,339	-4.64%
12.0	2.48	1.19	3.3	9.86	19,231	11819	17,985	-6.48%
13.0	2.56	1.34	3.8	9.86	19,231	11819	17,973	-6.54%
14.0	2.64	1.46	4.3	9.86	19,231	11819	18,012	-6.34%
15.0	2.71	1.57	4.8	9.86	19,231	11819	18,065	-5.96%
17.0	2.83	1.69	5.4	9.86	19,231	11819	18,818	-2.15%
20.0	3.00	2.00	7.4	9.86	19,231	11819	18,581	-3.38%
25.0	3.22	2.30	10.0	9.86	19,231	11819	19,237	0.03%
28.5	3.35	2.48	12.0	9.86	19,231	11819	19,590	1.87%
15.0	2.71	1.25	3.5	9.98	21,538	12116	20,497	-4.83%
17.0	2.83	1.46	4.3	9.98	21,538	12116	20,546	-4.37%
20.0	3.00	1.70	5.5	9.98	21,538	12116	20,899	-2.96%
25.0	3.22	2.01	7.5	9.98	21,538	12116	21,560	0.10%

CORRELACION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

FLUJO LN L/S DE L/S	LN ESC ESC	ESCALON DE CAPAC.	LN COSTO COSTO	COSTO MILES \$	MOD.	ESTIMADO	VARIA CION	
30.0	3.40	2.25	9.5	9.98	21.538	12116	22.265	3.39%
31.5	3.45	2.27	10.0	9.98	21.538	12116	22.201	3.84%
10.0	2.30	0.00	1.0	10.09	24.013	12119	25.454	6.00%
11.0	2.40	0.26	1.3	10.09	24.013	12119	24.500	2.03%
12.0	2.48	0.53	1.7	10.09	24.013	12119	23.993	-2.58%
13.0	2.56	0.80	2.0	10.09	24.013	12119	23.179	-3.47%
14.0	2.64	0.68	2.4	10.09	24.013	12119	22.695	-5.49%
15.0	2.71	1.03	2.8	10.09	24.013	12119	22.392	-6.75%
17.0	2.83	1.25	3.5	10.09	24.013	12119	22.146	-6.94%
20.0	3.00	1.55	4.7	10.09	24.013	12119	22.043	-7.17%
25.0	3.22	1.87	6.5	10.09	24.013	12119	22.818	-4.96%
30.0	3.40	2.12	8.7	10.09	24.013	12119	23.439	-2.18%
35.0	3.56	2.34	10.0	10.09	24.013	12119	23.892	-0.50%
38.0	3.64	2.48	12.0	10.09	24.013	12119	23.894	-0.50%
19.6	2.98	1.25	3.5	10.21	27.308	12416	24.653	-9.72%
20.0	3.00	1.26	3.6	10.21	27.308	12416	24.722	-9.47%
25.0	3.22	1.65	5.2	10.21	27.308	12416	24.928	-8.72%
30.0	3.40	1.90	6.7	10.21	27.308	12416	25.589	-6.37%
35.0	3.56	2.12	8.3	10.21	27.308	12416	26.126	-4.33%
40.0	3.69	2.28	9.8	10.21	27.308	12416	26.824	-1.77%
42.0	3.74	2.32	10.3	10.21	27.308	12416	27.201	-0.39%
12.2	2.59	0.00	1.0	10.34	31.013	12419	30.992	-0.07%
14.0	2.64	0.18	1.2	10.34	31.013	12419	29.870	-3.68%
15.0	2.71	0.41	1.5	10.34	31.013	12419	28.676	-7.54%
17.0	2.83	0.69	2.0	10.34	31.013	12419	27.895	-10.05%
20.0	3.00	1.06	2.9	10.34	31.013	12419	26.934	-13.15%
25.0	3.22	1.46	4.3	10.34	31.013	12419	26.678	-13.33%
30.0	3.40	1.74	5.7	10.34	31.013	12419	27.261	-12.10%
35.0	3.56	1.99	7.3	10.34	31.013	12419	27.490	-11.36%
40.0	3.69	2.15	8.6	10.34	31.013	12419	28.249	-8.91%
45.0	3.81	2.30	10.0	10.34	31.013	12419	28.864	-6.93%
50.0	3.91	2.45	11.6	10.34	31.013	12419	29.268	-5.63%
51.0	3.92	2.48	12.0	10.34	31.013	12419	29.275	-5.61%

Salida de Regresión

Constante	8.555146
Err Std de Y Est	0.097791
R al Cuadrado	0.970176
No. de Observaciones	124
Grados de Libertad	124
Coefficiente de Regresión	0.984975
Coefficiente(s) X	0.6902 -0.39630
Err Std de Coef.	0.0109 0.013148
Err Global de la Ecuación	7.54%