

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS

**ANÁLISIS DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
BASADA EN POLINOMIOS DE APROXIMACIÓN**

**Que para obtener el Título de
INGENIERO ELECTRICISTA**

Presenta

Josué Ramírez González

Asesor de Tesis

Dr. Gilberto González Avalos

Septiembre del 2009

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecerle a Dios por haberme bendecido y llegar hasta donde eh llegado. A mi abuelita Angelina que esta en alguna parte cerca de Dios, pero que siempre ha estado conmigo.

Agradezco a mi asesor de tesis Dr. Gilberto González Avalos por su valiosa asesoría.

A mis padres Salvador Ramírez Pérez y Ma. De los Ángeles González Navarrete por todo el apoyo que me han dado a lo largo de mi carrera y de mi vida.

A mis hermanos Hiram y Eric por su apoyo económico y moral durante estos años estudiando.

A mis hermanas Ivette y María que aún siguen estudiando y que les deseo suerte en todo lo que vayan a hacer.

A mis tíos David, Gerardo, Angelina, Isaura, Arturo, Alfonso, Adolfo, Gil, Teresa, Yolanda, Chava, que siempre me apoyaron para salir adelante.

Un agradecimiento especial a mis tíos David y Gerardo que me apoyaron económicamente para hacer éste trabajo.

A la facultad de Ingeniería Eléctrica y a todos sus maestros por todos los conocimientos que me ofrecieron durante esta etapa.

Al Dr. Antonio Ramos Paz por su colaboración desinteresada.

Así mismo quiero agradecer a todos los que hicieron posible la terminación de este trabajo de tesis y no los mencione.

Dedicatoria

A mis padres y hermanos.

A toda la gente que siempre creyó en mí es para todos ustedes.

Resumen

En México hay treinta plantas termoeléctricas, trece plantas hidroeléctricas y una planta dual termoeléctrica e hidroeléctrica. En total, en México hay cuarenta y cuatro plantas productoras de energía.

Por lo cual es fácil decir que es las termoeléctricas son la principal fuente de generación de energía eléctrica en el país.

El presente trabajo consta en un análisis de la central termoeléctrica obteniéndose una eficiencia térmica, utilizando polinomios de aproximación para la obtención de las entalpías y entropías, así mismo haciendo de éste un nuevo método para la solución de estos tipos de análisis de centrales termoeléctricas.

El estudio de la teoría de aproximación de funciones comprende dos tipos generales de problemas. Uno se presenta cuando una función se da de manera explícita, pero se quiere encontrar un tipo más simple de ella, por ejemplo un polinomio, que nos sirva para determinar los valores aproximados de una función dada. Otro problema de la teoría se refiere a la búsqueda de la función óptima que podamos emplear para representar un conjunto de datos. Esto último es lo que se hace en esta tesis utilizamos una aproximación de una función que representa un conjunto de datos obtenidos de las tablas de vapor de agua, esto para obtener las entalpías y entropías directamente y sin necesidad de utilizar la interpolación.

Así mismo se pudo comprobar que aplicando los polinomios de aproximación para entalpías y entropías de líquido saturado, vapor húmedo, vapor seco y vapor sobrecalentado, puede ser una alternativa eficiente y rápida en la solución de una central termoeléctrica.

Contenido

Agradecimientos	i
Dedicatoria	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Lista de Figuras	vi

Capítulo 1. Introducción

1.1. Generación basada en Termoeléctricas.....	1
1.2. Objetivo de la Tesis.....	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Descripción de la Tesis.....	5

Capítulo 2. Antecedentes de las centrales termoeléctricas y polinomios de aproximación 6

2.1. Las Centrales Termoeléctricas.....	7
2.1.1 Centrales Termoeléctricas de vapor.....	8
2.2. Ciclos Termodinámicos de las centrales termoelectricas.....	10
2.2.1 Ciclo Rankine.....	10
2.2.2 Modo de operación del ciclo Rankine.....	10
2.2.3 Influencia de la presión en el generador de vapor.....	13
2.2.4 Ciclo de vapor sin condensador.....	14
2.2.5 Ciclo con condensador.....	14
2.2.6 Ciclo de Recalentamiento.....	15
2.2.7 Ciclo Regenerativo.....	17
2.2.8 Ciclo Combinado.....	22
2.2.9 Ciclos Binarios.....	23
2.3. Capacidad de energía termoeléctrica en México y en el mundo.....	26
2.4. Aproximación de funciones por polinomios.....	27

2.4.1	Método de los mínimos cuadrados.....	28
2.4.2	Aproximación de polinomios de Taylor.....	34
2.4.3	Polinomios de Lagrange.....	35

Capítulo 3. Determinación directa de los polinomios de aproximación

3.1.	Determinación directa de los polinomios de aproximación....	36
------	---	----

Capítulo 4. Análisis de una Central termoeléctrica utilizando Polinomios de Aproximación

4.1.	Comparación del análisis de una central termoeléctrica de vapor seco por medio de tablas de vapor y polinomios de aproximación.....	110
4.1.1	Análisis de la central con las tablas de vapor de agua.....	110
4.1.2	Análisis de la central con los polinomios de aproximación	110
4.2.	Comparación del análisis de una central termoeléctrica con un ciclo regenerativo por tablas de vapor y polinomios de aproximación	115
4.2.1	Análisis de la central con las tablas de vapor.....	115
4.2.2	Análisis de la central con los polinomios de aproximación	117
4.3.	Comparación del análisis de una central termoeléctrica con un ciclo de recalentamiento por tablas de vapor y polinomios de aproximación	120
4.3.1	Análisis de la central con las tablas de vapor.....	120
4.3.2	Análisis de la central con los polinomios de aproximación	122
4.4.	Código del programa que resuelve los anteriores análisis de la central termoeléctrica.....	125

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1.	Conclusiones.....	130
5.2.	Recomendaciones.....	131
	Apéndices.....	132
	Bibliografía.....	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Diagrama de una central termoeléctrica convencional...	3
Figura 1.2.	Diagrama de Mollier para el vapor de agua	4
Figura 2.1	Principales componentes de una central termoeléctrica..	9
Figura 2.2	Planta de generación de vapor elemental....	10
Figura 2.3	Diagramas P-V y T-S del ciclo Rankine....	11
Figura 2.4	Diagrama de T-S del ciclo Rankine con sobrecalentamiento..	12
Figura 2.5	Ciclo con condensador.....	15
Figura 2.6	Ciclo de recalentamiento.....	15
Figura 2.7	Diagrama para T-S para el ciclo de recalentamiento...	16
Figura 2.8	Ciclo regenerativo con calentador de contacto directo.	18
Figura 2.9	Diagrama T-S Ciclo Regenerativo	20
Figura 2.10	Ciclo Regenerativo con dos extracciones.	20
Figura 2.11	Ciclo de vapor, un paso de recalentamiento y un paso regenerativo	21
Figura 2.12	Diagrama del ciclo combinado	22
Figura 2.13	Ciclo Binario Agua-Mercurio...	25
Figura 2.14	Diagrama del Ciclo Binario Agua-Mercurio....	25
Figura 2.15	Representacion de un ajuste de curva	27
Figura 2.16	Ejemplo de una aproximación de primer orden	28
Figura 2.17	Gráfica de los datos reales y el ajuste del ejemplo2	33
Figura 3.1	Gráfica Presión-Entalpía de líquido saturado. Parte 1 Muestra la gráfica de los ajustes de los polinomios de aproximación	37
Figura 3.2	(hf1	39
Figura 3.3	Curvas poly7 y real de hf1...	39
Figura 3.4	Muestra la gráfica de los datos p2 y hf2	40
Figura 3.5	Muestra graficas de ajustes de polinomios de aproximación hf2	42
Figura 3.6	Curvas Real y poly5 de hf2	42
Figura 3.7	Muestra la gráfica Real de los datos p1-hg1.....	43
Figura 3.8	Muestra gráficas de ajustes de polinomios de aproximación hg1	45
Figura 3.9	Curvas Real y poly6 de hg1	45
Figura 3.10	Gráfica real de datos p2-hg2	46
Figura 3.11	Gráfica de Curvas de Polinomios y Reales	48
Figura 3.12	Curvas Real y Poly6 para hg2	48
Figura 3.13	Gráfica de valores p1-hfg1.....	49
Figura 3.14	Grafica de curvas de polinomios y real	51
Figura 3.15	Curvas Real y poly7 para hfg1.	51
Figura 3.16	Gráfica de los datos p2-hfg2	52
Figura 3.16	Gráficas Real y de polinomios	54
Figura 3.16	Curvas Real y poly6 para hfg2	54
Figura 3.16	Gráfica de los datos p1-sf1	55
Figura 3.20	Gráficas Real y poly6 para sf1	57
Figura 3.21	Gráfica de los datos p2-sf2	58
Figura 3.22	Gráficas Real y polinomios	60
Figura 3.23	Gráficas Real y poly5 para sf2	60
Figura 3.24	Gráfica de datos p1-hg1	61

Figura 3.25	Gráficas real y de ajustes de polinomios	63
Figura 3.26	Gráficas Real y poly7 para sf1	63
Figura 3.27	Gráfica de datos p2-sg2	64
Figura 3.28	Gráficas Real y ajustes de polinomios	66
Figura 3.29	Gráfica de curvas Real y poly5 para sg2	66
Figura 3.30	Gráfica de datos reales p1-sfg1	67
Figura 3.31	Gráficas Real y ajustes de polinomios	69
Figura 3.32	Gráfica de las curvas Real y poly7 para sfg1	69
Figura 3.33	Gráfica de datos p2-sfg2	70
Figura 3.34	Gráficas Real y ajustes de polinomios.	72
Figura 3.35	Gráficas de curvas Real y poly5 para sfg2	72
Figura 3.36	Gráfica de datos reales t20-h20	73
Figura 3.37	Gráfica de curvas Real y de polinomios para h20	75
Figura 3.38	Gráfica de curvas Real y poly5 para h20	75
Figura 3.39	Gráfica de datos reales t20-s20	76
Figura 3.40	Gráfica de curvas Real y de polinomios para s20.	78
Figura 3.41	Graficas de curvas Real y poly5 para s20	78
Figura 3.42	Gráfica de los datos reales t30-h30	79
Figura 3.43	Gráfica de curvas real y polinomios para h30	81
Figura 3.44	Gráficas de curvas Real y poly5 para h30	81
Figura 3.45	Gráfica de datos reales de t30-s30	82
Figura 3.46	Gráfica de curvas Real y polinomios para s30	84
Figura 3.47	Gráfica de curva Real y poly3 para s30	84
Figura 3.48	Gráfica de valores reales t40-h40	85
Figura 3.49	Gráficas de curvas Real y polinomios para h40	87
Figura 3.50	Gráfica de curvas Real y poly3 para h40	87
Figura 3.51	Gráficas de los valores reales t40-s40	88
Figura 3.52	Gráfica de curvas Real y polinomios para s40	90
Figura 3.53	Gráfica de curvas Real y poly3 para s40	90
Figura 3.54	Gráfica de datos reales t60-h60	91
Figura 3.55	Gráfica de curvas Real y polinomios para h60	93
Figura 3.56	Curvas Real y poly3 para h60	93
Figura 3.57	Gráfica de los valores Reales t60-s60	94
Figura 3.58	Gráfica de curvas Real y polinomios para s60	96
Figura 3.59	Curvas Real y poly3 para s60	96
Figura 3.60	Gráfica de valores reales t80-h80	97
Figura 3.61	Gráfica de curvas Real y polinomios para h80	99
Figura 3.62	Curvas Real y poly3 para h80	99
Figura 3.63	Gráfica de los valores reales de t80-s80	100
Figura 3.64	Gráfica de curvas Real y polinomios para s80	102
Figura 3.65	Gráfica de curvas Real y poly3 para s80	102
Figura 3.66	Gráfica de valores reales de t100-h100	103
Figura 3.67	Gráfica de curvas Real y polinomios para h100	105
Figura 3.68	Gráfica de curvas Real y poly3 para h100	105

Figura 3.69	Gráfica de los valores reales de $t_{100-s_{100}}$	106
Figura 3.70	Gráfica de curvas Real y polinomios para s_{100}	108
Figura 3.71	Gráfica de curvas Real y poly3 para s_{100}	108

Capítulo 1

Introducción

1.1 LA GENERACIÓN BASADA EN TERMOELÉCTRICAS

Una central de generación es una instalación eléctrica con el objetivo de producir energía eléctrica. En este caso la generación eléctrica a mencionar es la termoeléctrica que está basada a una serie de transformaciones químicas las cuales son realizadas en la central en base a un combustible.

La central termoeléctrica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante combustibles como el petróleo, gas natural o carbón. Este calor es aprovechado por una turbina que a su vez está acoplada a un generador eléctrico a partir de un ciclo termodinámico.

Independientemente del combustible utilizado en la central termoeléctrica, el funcionamiento de esta se basa en el mismo ciclo termodinámico, las únicas diferencias consisten en el mantenimiento previo del combustible antes de ser inyectado al generador de vapor y en los quemadores del mismo que varían dependiendo del combustible.

Una central termoeléctrica debe tener depósitos de combustible, de tal forma que tenga abastecimiento permanente, para asegurar la generación de energía eléctrica. Si se trata de una central termoeléctrica de carbón, debe tener previamente un molino donde el carbón sea pulverizado hasta convertirlo en polvo fino para facilitar la combustión. Si se trata de una central termoeléctrica de combustóleo, este combustible debe ser calentado previamente para que este sea menos espeso y así inyectarlo a los quemadores adecuados del generador de vapor para este combustible. Si se trata de una central termoeléctrica de gas natural, este es inyectado a quemadores especiales del generador de vapor para este tipo de combustible.

También existen centrales termoeléctricas mixtas las cuales pueden quemar cualquier combustible fósil (carbón, gas natural, combustóleo).

Dentro del generador de vapor se produce el vapor que hace accionar la turbina, la cual consta de 3 cuerpos que son: Turbina de alta presión, Turbina de media presión y Turbina de baja presión. Haciendo girar el rotor de la turbina acoplada con el rotor del generador eléctrico generando así energía eléctrica, la cual es transportada por líneas de alta tensión a los centros de consumo.

Después de haber accionado las turbinas el vapor pase a fase líquida en el condensador de vapor, el agua obtenida por la condensación pasan por un proceso de calentamiento para ser inyectada al generador en buenas condiciones de presión y temperaturas por bombas de agua de alimentación para tener una buena eficiencia.

El sistema de agua de refrigeración que posee el condensador traslada el calor extraído del condensador a la atmósfera mediante torres de enfriamiento, o también puede ser descargado a los mares o ríos.

Para minimizar los efectos de combustión se cuenta con chimeneas que tienen una altura de hasta 300 metros y precipitadores que retienen gran parte de los contaminantes en la central misma.

En la figura 1.1 se muestra un diagrama de una central termoeléctrica convencional, incluidos sus sistemas principales, esta central termoeléctrica es la básica, puede tener variaciones según cada central real en particular.

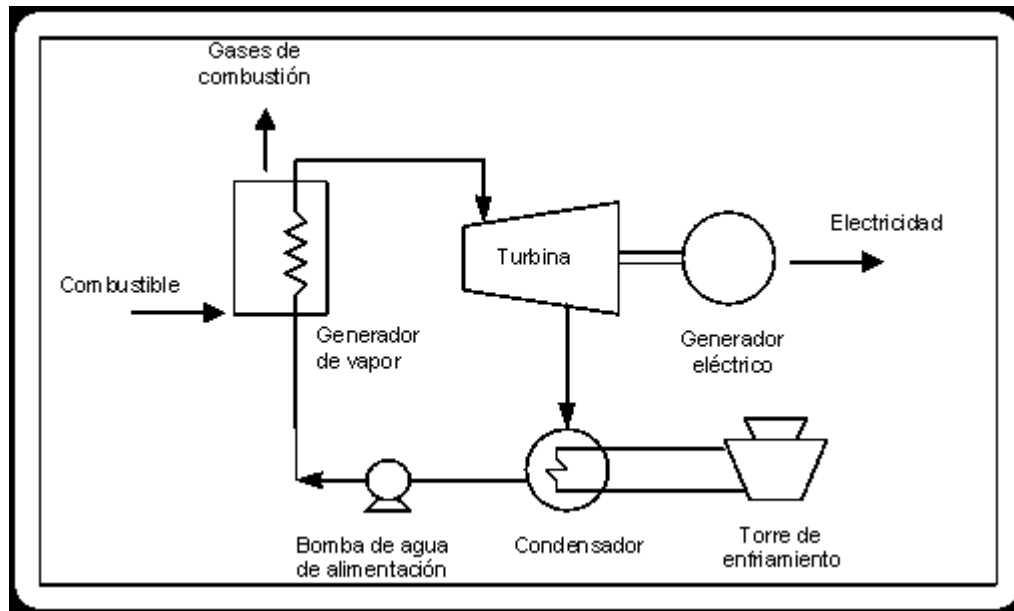


Figura 1.1 Diagrama de una central termoeléctrica convencional.

El conocimiento y evaluación de las propiedades termodinámicas del agua y del vapor en sus diferentes estados es fundamental para la resolución de los problemas de centrales termoeléctricas. De todas ellas la entalpía es la más importante, debido a que se relaciona directamente con los trabajos que realiza la turbina y el generador de vapor y sólo así calcular la eficiencia de la central.

Las entalpías y otras propiedades se pueden obtener de tablas de vapor, pero para el caso del agua también se pueden encontrar en forma de diagrama.

El diagrama de Mollier, es un diagrama en las coordenadas entalpía-entropía, en el que se incluyen también líneas de presión y temperatura constante, las de humedad constante, las de vapor y el líquido saturado, las de recalentamiento constante y las de volumen específico constante. Para el análisis de la central termoeléctrica se utilizan la presión y temperatura para localizar las entalpías y entropías, aunque su grado de exactitud es inferior al que se obtiene de los datos tabulados, aún así es muy empleado en este tipo de análisis.

En la figura 1.2 se muestra el diagrama de Mollier para el vapor del agua.

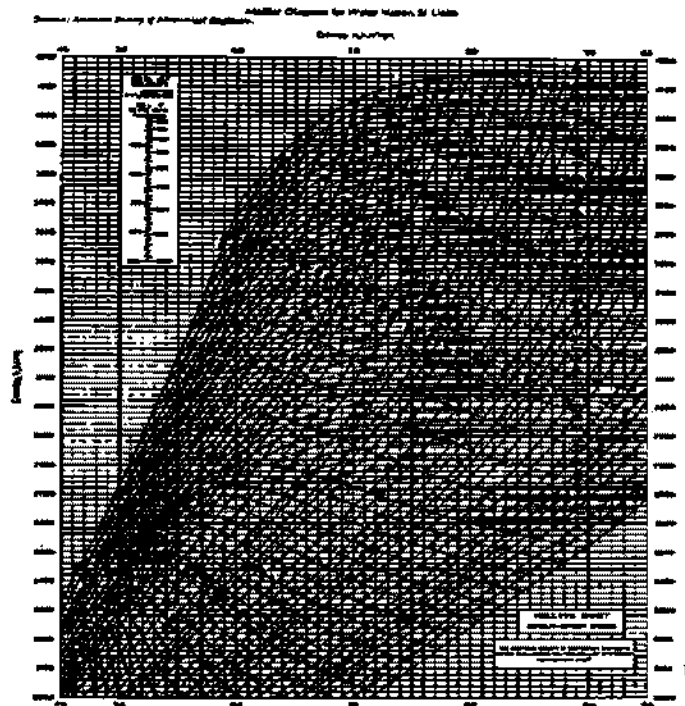


Figura 1.2 Diagrama de Mollier para el vapor de agua.

1.2 OBJETIVO DE LA TESIS

El objetivo de esta tesis es mostrar un método alternativo para el análisis de centrales termoeléctricas en base a los polinomios de aproximación, para que en su uso, no haya necesidad de utilizar los diagramas de Mollier y las tablas de vapor, y así sea más exacta que obtener los valores de las entalpías directamente del diagrama de Mollier, y sea más simple que obtener los mismos con las tablas de vapor debido a la interpolación.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La justificación del presente trabajo es tener otra herramienta para el análisis de una central termoeléctrica para encontrar las entalpías, con un poco más de exactitud, ya que en este análisis nunca se ha utilizado el método de los polinomios de aproximación y sería una herramienta innovadora y fácil de utilizar y se mostrará una aplicación de los polinomios de aproximación en un problema real ya que se utilizan muy poco para problemas reales.

Se va a presentar también un programa que resuelva las entalpías directamente para determinar la eficiencia de la Central Termoeléctrica, uno de los motivos por los que se hace este trabajo en este tipo de centrales es debido a que estas, son la base de la generación de energía en el país por lo que se hace más interesante y por esto se propone un nuevo aporte para el análisis y por lo tanto encontrar la eficiencia de las plantas termoeléctricas.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA TESIS

En el capítulo 1 se muestra una breve introducción sobre la generación de energía eléctrica basada en termoeléctricas, se explica el funcionamiento y los componentes de la central termoeléctrica, así como el funcionamiento con los combustibles usados para la combustión en la caldera de vapor, se menciona que las centrales termoeléctricas tienen elementos alternos que contribuyen a minimizar los daños al ambiente como los son las chimeneas y los precipitadores y se mencionan los objetivos de la tesis y su justificación.

En el capítulo 2 se muestran los antecedentes de las centrales termoeléctricas en el mundo y en México así como sus aportaciones de energía mundial y localmente, se explica los ciclos termodinámicos que se usan para los diversos análisis en las termoeléctricas muestran también los antecedentes de los polinomios de aproximación así como algunos de sus diferentes métodos para resolver los mismos.

En el capítulo 3 se muestra la determinación directa de los polinomios de aproximación en las propiedades de vapor

En el capítulo 4 se muestra una comparación el análisis de una central termoeléctrica basado con polinomios de aproximación y otra utilizando las tablas de vapor .

En el capítulo 5 se muestran las conclusiones obtenidas y recomendaciones, finalmente se describe la bibliografía utilizada para desarrollar este trabajo y los apéndices necesarios.

Capítulo 2

Antecedentes de Centrales Termoelectricas y Polinomios de aproximación

2.1 LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

Una central termoelectrica es una instalación usada para producir energía eléctrica a partir del calor. Este calor se obtiene en base a combustibles fósiles como es el petróleo, el gas y el carbón. Depende de cómo se obtiene el calor en las centrales se clasifican de la siguiente forma:

- a) **Centrales Termoelectricas de vapor.** En este tipo de centrales el fluido que alimenta a la turbina es vapor de agua.
- b) **Centrales Termoelectricas de gas.** Estas centrales térmicas utilizan gas, el cual es calentado por combustibles fósiles, resultando que los gases estén a altas temperaturas los cuales movilizan la turbina que a su vez esta acoplado a un generador eléctrico que produce la energía eléctrica.
- c) **Centrales Termoelectricas de ciclo combinado.** Utilizan dos turbinas una de gas y otra a vapor. El gas calentado moviliza a una turbina y calienta el agua, la cual se convierte en vapor y moviliza la otra turbina.

2.1.1 CENTRALES TERMOELECTRICAS DE VAPOR

En este tipo de centrales se utiliza el agua en un ciclo cerrado. El agua se calienta en grandes cantidades en el generador de vapor por lo cual se produce vapor usando como combustible carbón, gas o combustóleo.

La turbina se mueve debido a la presión de vapor, y su energía cinética es transformada en energía eléctrica por un generador eléctrico. Estas centrales son bastante utilizadas por muchos países que están enriquecidos por combustibles fósiles, debido a que son consideradas las más económicas y rentables.

En las instalaciones clásicas de vapor existen tres tipos de flujos fundamentales que son: el flujo de vapor de agua, el de los gases de combustión y el de agua de refrigeración y cuatro dispositivos básicos: El generador de vapor, la turbina, las bombas de agua de alimentación y los condensadores.

a) CIRCUITO DEL VAPOR DE AGUA

Proveniente del condensador llega el agua en fase líquida al generador de vapor, el agua es bombeada por bombas de agua al generador de vapor, donde ésta se evapora prácticamente a presión constante, se calienta a la temperatura prevista y posteriormente a la turbina. En el análisis se evalúa con una presión constante, pero en la realidad, existe una caída de presión debido al rozamiento que existe en el generador de vapor y en los tubos de conducción.

En la turbina el vapor cede energía mecánica, al provocar que la turbina gire y con está el del rotor del generador eléctrico. Posteriormente el vapor sale de la turbina y se va hacia el condensador donde se condensa, cediendo calor al medio ambiente. En el condensador se elimina toda la energía calorífica proporcionada por el generador de vapor, donde se hace el agua en refrigeración en grandes cantidades por medio de tubos que atraviesan el condensador. El líquido condensado se envía nuevamente al generador de vapor repitiéndose así el ciclo.

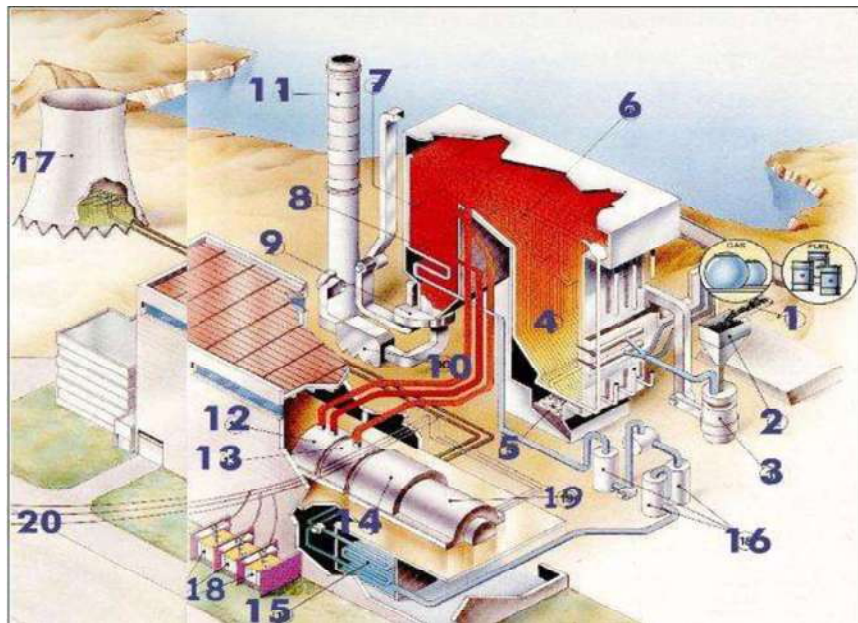
b) CIRCUITO DE HUMOS

Los gases de combustión formados en el generador de vapor son expulsados por chimeneas, estos gases son aprovechados previamente por el economizador ó pre calentador de agua y finalmente por un pre calentador de aire. Este último se encarga de aprovechar el calor residual de los gases de combustión precalentando el aire de combustión que se manda a el generador de vapor, con la ayuda de un soplante.

c) CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

Se debe disponer de una gran cantidad de agua (Mar, río ó embalse). El agua fría se toma de un lugar donde se tenga el embalse, y se devuelve el agua caliente en un lugar lo suficientemente alejado para que no caliente el agua que se envía al condensador, también se deben tomar precauciones necesarias para que no afecte la contaminación térmica a la fauna y flora de la región. Cuando no se dispone de suficiente agua se debe contar con torres de enfriamiento que extrae el calor del condensador a la atmósfera.

En la figura 2.1 se muestran los principales componentes de una central termoeléctrica.



1.Cinta transportadora; 2.Tolva; 3. Molino; 4. Caldera; 5. Cenizas; 6. Sobrecalentador; 7. Recalentador; 8. Economizador; 9. Calentador de aire 10. Precipitador; 11. Chimenea; 12.Turbina de alta presión; 13. Turbina de media presión; 14 Turbina baja presión; 15. Condensador; 16. Calentadores; 17. Torre de Refrigeración; 18. Transformadores. 19. Generador 20. Línea de transporte de energía eléctrica

Figura 2.1 Principales componentes de la Central Termoeléctrica.

2.2 CICLOS TERMODINÁMICOS DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA

2.2.1 CICLO RANKINE

El ciclo de Rankine es el ciclo ideal que sirve de base al funcionamiento de las centrales termoeléctricas, las cuales, producen actualmente la mayor parte de la energía eléctrica que se consume en el mundo. La evolución de las centrales termoeléctricas ha estado condicionada por la búsqueda de mejoras en el rendimiento térmico del ciclo termodinámico, ya que incluso pequeñas mejoras en el rendimiento significan grandes ahorros en los requerimientos de combustible. La idea básica detrás de todas las modificaciones para incrementar el rendimiento de un ciclo de potencia es aumentar la temperatura promedio a la cual el calor se transfiere al fluido de trabajo en el generador de vapor, o disminuir la temperatura promedio a la cual el fluido de trabajo cede calor al condensador. Esto se consigue con una selección cuidadosa de las condiciones de operación de la caldera (presión y temperatura a la que genera el vapor), y del condensador (presión de operación), así como con la incorporación de recalentamientos entre diferentes etapas de expansión y calentamientos regenerativos del agua de alimentación.

2.2.2 MODO DE OPERACIÓN DEL CICLO RANKINE

La planta de generación de vapor ideal que aparece en la figura 2.2 se puede analizar mediante el ciclo Rankine, cuyos diagramas presión-volumen y temperatura-entropía aparecen en la figura 2.3.

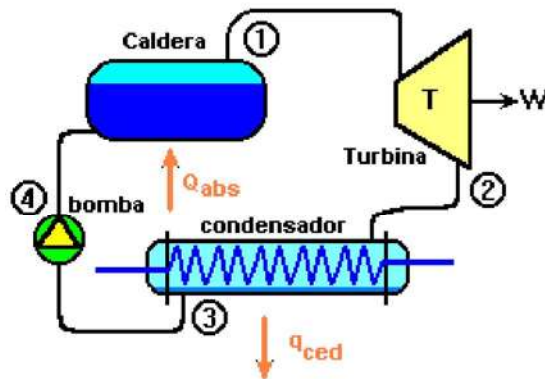


Figura 2.2. Planta de generación de vapor elemental

El vapor saturado proveniente de la caldera a una presión P_1 es suministrado a la turbina, donde pasa por un proceso isoentrópico hasta la presión P_2 . En el condensador se transforma el vapor húmedo en líquido saturado mediante los tubos de enfriamiento del mismo. Debido a que la presión $P_2 = P_3$ es mucho menor que la presión del vapor en la caldera $P_4 = P_1$, el líquido saturado proveniente del condensador, se bombea isoentrópicamente hasta alcanzar una presión P_4 .

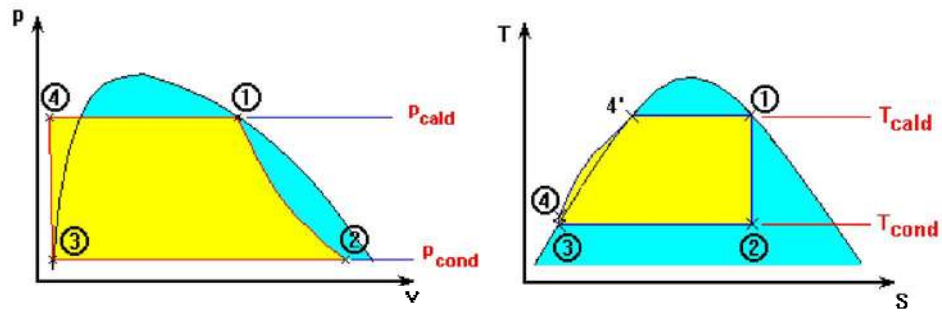


Figura 2.3. Diagramas P-V y T-S del ciclo Rankine

La eficiencia del ciclo Rankine ideal, puede obtenerse de la definición original de eficiencia.

$$e = \frac{\text{Trabajo neto ó útil}}{\text{Trabajo o energía entregada al sistema}} \quad (2.1)$$

El trabajo desarrollado por la turbina, despreciando diferencias de energía cinética y potencial es:

$$W_t = h_1 - h_2 \quad \text{por unidad de masa} \quad (2.2)$$

El trabajo que requiere la bomba es:

$$W_b = h_4 - h_3 \quad (2.3)$$

El trabajo neto es:

$$W_N = W_t - W_b \quad (2.4)$$

Por otro lado, la energía que toma el agua en el generador de vapor es:

$$Q = h_1 - h_4 \quad (2.5)$$

Entonces la eficiencia será como se muestra en la ecuación (2.6):

$$e = \frac{W_N}{Q} = \frac{W_t - W_b}{Q} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \quad (2.6)$$

El sobrecalentamiento del vapor hasta altas temperaturas aumenta el rendimiento térmico del ciclo al aumentarla temperatura promedio a la que se proporciona calor, lo que aumenta la entalpía y por lo tanto se aumenta la eficiencia, esto se logra mediante un sobrecalentador, el cual permite isobáricamente aumentar la entalpía del vapor.

Por consideraciones metalúrgicas, debido a la restricción de los materiales para soportar altas temperaturas, el sobrecalentamiento del vapor está limitado hasta un máximo de 620°C. En la figura 2.4 se muestra el diagrama de temperatura-entropía con sobrecalentamiento. Observándose que la calidad del vapor descargado por la turbina 1-2 también se incrementa.

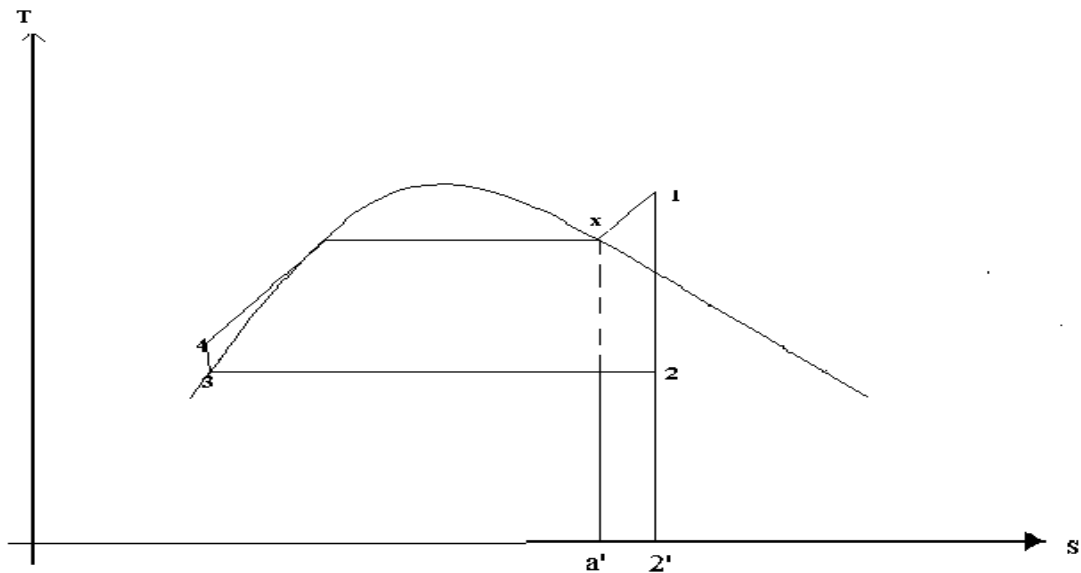


Figura 2.4. Diagrama de T-S del ciclo Rankine con sobrecalentamiento

La eficiencia térmica del ciclo Rankine también puede incrementarse disminuyendo la entalpía del vapor a la descarga de la turbina. Esta disminución generalmente se logra disminuyendo la presión de operación de condensador. Sin embargo, una disminución de la presión de descarga trae como consecuencia un aumento en la humedad del vapor descargado por la turbina. Esta consecuencia es significativa si se considera que una humedad excesiva en los últimos pasos de la turbina origina una disminución en la eficiencia de ésta, y puede dar origen a la erosión de los álabes de la misma.

2.2.3 INFLUENCIA DE LA PRESION EN EL GENERADOR DE VAPOR

Si incrementamos la presión de operación del generador de vapor, automáticamente se eleva la temperatura a la cual tiene lugar la ebullición. Esto produce un aumento de la temperatura promedio a la que se añade calor al vapor y, por tanto, mejora el rendimiento térmico del ciclo. Las presiones máximas posibles en las calderas han ido aumentando con el tiempo hasta alcanzar hoy día valores hipercríticos en torno a los 30 MPa.

Sin embargo, un aumento en la presión de operación origina un mayor grado de humedad en los últimos pasos de la turbina y otros inconvenientes que se comentarán posteriormente.

En el intento para mejorar el rendimiento en las centrales termoeléctricas, se han realizado una serie de modificaciones al ciclo Rankine original, teniéndose los siguientes ciclos de vapor:

- a) Sin condensador
- b) Con condensador
- c) De recalentamiento
- d) Regenerativo
- e) Combinado
- f) Supercrítico
- g) Binario

2.2.4 CICLO DE VAPOR SIN CONDENSADOR

Este fue el primer ciclo de vapor utilizado en forma amplia, tiene una gran desventaja, la presión mínima con que puede salir el vapor de la turbina es la atmosférica 1 atm, esto implica que el vapor condensa y la temperatura mínima para que está condense es de 100°C , se tiene que rechazar mucha energía calorífica al medio ambiente. Este tipo de ciclo se utiliza muy poco en la actualidad, excepto en plantas geotérmicas.

El arreglo de este ciclo se muestra en la figura 2.4

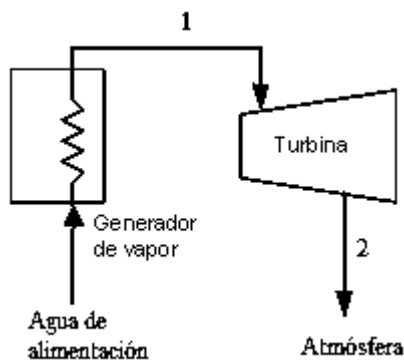


Figura 2.4. Ciclo sin condensador

2.2.5 CICLO CON CONDENSADOR

El arreglo para este ciclo es el mostrado en la figura 2.5, que es igual al ciclo Rankine normal, en éste se logra tener presiones de vacío más bajas, del orden de 2 ó 3 pulg. de Mercurio, siendo la temperatura mínima que condense de 40°C , lo que provoca que haya un salto entálpico (h) es más grande por lo tanto hay una mejora de eficiencia, como se ha dicho antes pequeñas mejoras en la eficiencia pueden ahorrar significativas cantidades de combustible, aunque no se pueden mejorar demasiado debido a que es muy costoso tener presiones en el condensador más bajas.

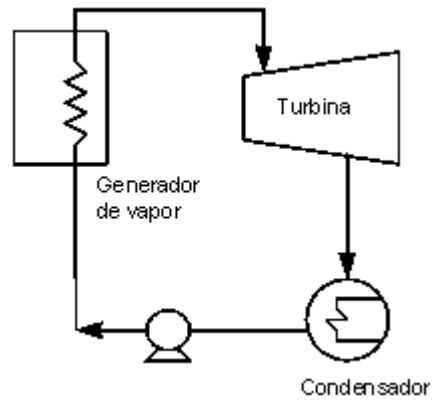


Figura 2.5. Ciclo con condensador.

2.2.6 CICLO DE RECALENTAMIENTO

Como ya se ha mostrado la mejora de eficiencia relacionada con presiones altas, trae como consecuencia que exista un contenido de humedad excesivo en el vapor a la salida de la turbina. Una solución consiste en extraer el vapor de la turbina para llevarse al generador de vapor y eliminar la humedad recalentándose a presión constante, este arreglo queda de la siguiente forma como se muestra en la figura 2.6.

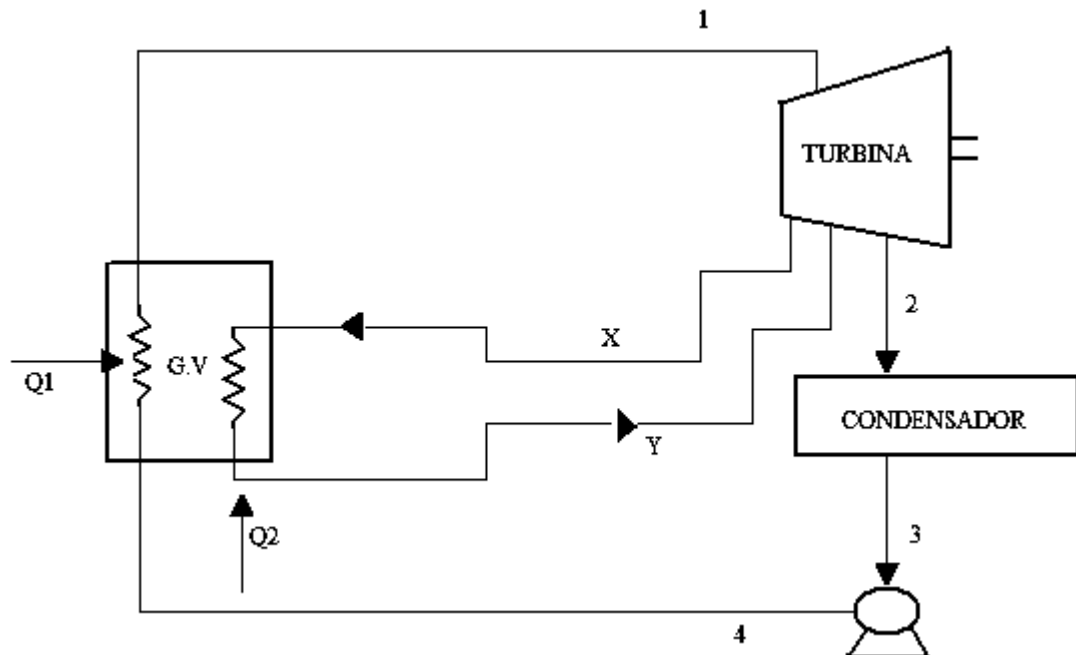


Figura 2.6. Ciclo de recalentamiento.

La eficiencia, que es la energía que se entrega a la turbina con respecto a la que recibe el ciclo es como se muestra en la ecuación (2.7):

$$e = \frac{(h_1 - h_x) + (h_y - h_3)}{(Q_1 + Q_2)} \quad (2.7)$$

Donde: $Q_1 = h_1 - h_4$ y $Q_2 = h_y - h_x$

Es importante mencionar que esta eficiencia no es la eficiencia total porque para hacer una eficiencia real del ciclo Rankine se debe tomar en cuenta las pérdidas en el generador, de tal manera que así se pueda definir una eficiencia global.

El diagrama para T-S para este ciclo queda como figura 2.7

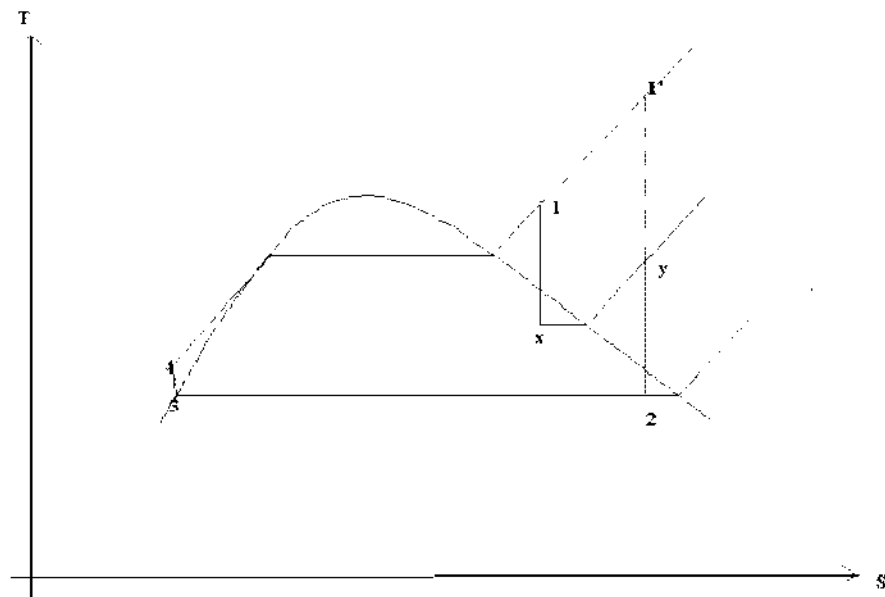


Figura 2.7. Diagrama para T-S para el ciclo de recalentamiento

La eficiencia de un ciclo Rankine con recalentamiento aumenta conforme se incrementa el número de etapas de expansión y recalentamiento. Sin embargo, la mejora que introduce el segundo recalentamiento es aproximadamente la mitad de la que se introduce en el primero y la de un tercero la mitad de la que alcanza el segundo. Por tal motivo no es posible instalar un número muy grande de pasos de recalentamiento ya que el costo y la complejidad de la instalación es mucho y el costo-beneficio no es compensado, por lo tanto es necesario hacer un análisis técnico-económico para decidir el número de recalentamientos.

2.2.7 CICLO REGENERATIVO

El de hecho de que el agua de alimentación que sale de la bomba entra al generador de vapor a una temperatura relativamente baja, revela que es otro punto de mejora para el ciclo Rankine. Por lo que se vió la necesidad de incluir el ciclo regenerativo para mejorar la eficiencia.

La idea básica de este ciclo es extraer parte del vapor que ya ha sido usado en la turbina, pero a una presión superior a la que opera el condensador, y usarlo para calentar el agua de alimentación a la caldera, de esta forma se recupera la energía que libera el vapor extraído al condensarse, es decir disminuye la energía calorífica rechazada por el condensador. La figura 2.8 muestra un arreglo donde se tiene un calentador de contacto directo.

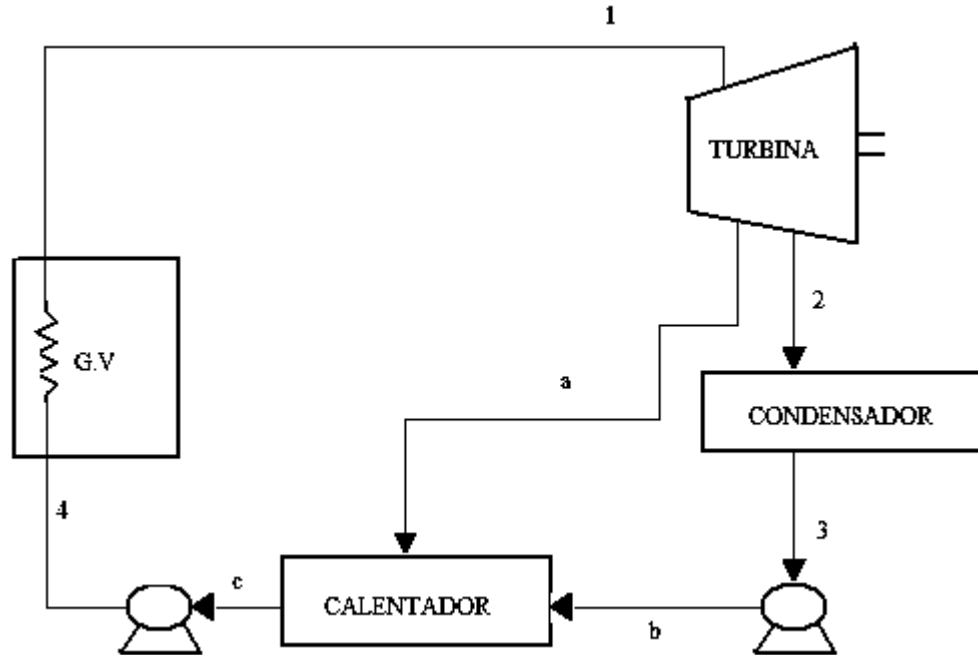


Figura 2.8. Ciclo regenerativo con calentador de contacto directo.

En este caso el vapor de extracción y el condensado se mezclan en un calentador abierto para lograr un líquido saturado. Las presiones de vapor del líquido saturado y del condensador deben ser las mismas, por lo que es necesario otra bomba para introducir el agua al generador de vapor.

Para este caso el flujo de masa de vapor en la extracción se determina mediante un balance de masa de vapor en extracción se determina mediante un balance de masa y energía considerando las diferencias de energía cinética y potencial se tiene:

$$m_b h_b + m_a h_a = m_c h_c \quad (2.8)$$

$$m_a + m_b = m_c \quad (2.9)$$

Pero:

$$m_c = m_1 \text{ y } m_b = m_c - m_a$$

Sustituyendo en la expresión anterior:

$$(m_c - m_a)h_b + m_a h_a = m_1 h_c \quad (2.10)$$

Reacomodando al ecuación 2-10

$$m_1 h_b - m_a h_b + m_a h_a = m_1 h_c \quad (2.11)$$

$$m_a (h_a - h_b) = m_1 h_c - m_1 h_b = m_1 (h_c - h_b) \quad (2.12)$$

por lo tanto:

$$m_a = \frac{m_1 (h_c - h_b)}{h_a - h_b} \quad (2.13)$$

Tambien se puede escribir:

$$\frac{m_a}{m_1} = \frac{h_c - h_b}{h_a - h_b} \quad (2.14)$$

Pero también se tiene:

$$h_b = h_3 = h_{f2} \text{ y } h_c = h_{fa}$$

La eficiencia del ciclo es:

$$e = \frac{(h_1 - h_a) + \left(1 - \frac{m_a}{m_1}\right) (h_a - h_2)}{h_1 - h_4} \quad (2.15)$$

El diagrama T-S para este ciclo es el mostrado en la figura 2.9.

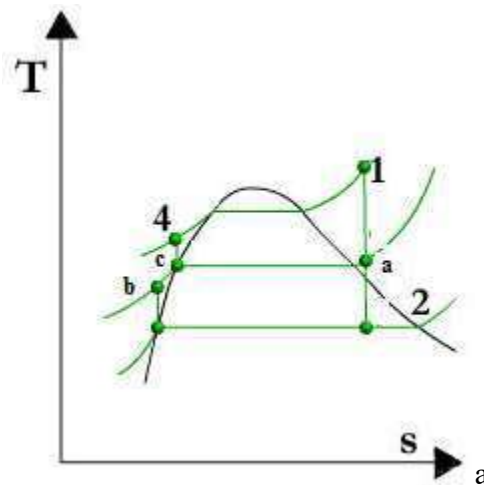


Figura 2.9. Diagrama T-S Ciclo Regenerativo

Como en el caso del ciclo de recalentamiento, se pueden tener arreglos de dos o más extracciones como se muestra en la figura 2.10. Es de esperarse que al aumentar el número de éstas se incremente la eficiencia, pero también en este caso se tienen limitaciones económicas y complejidad de instalación.

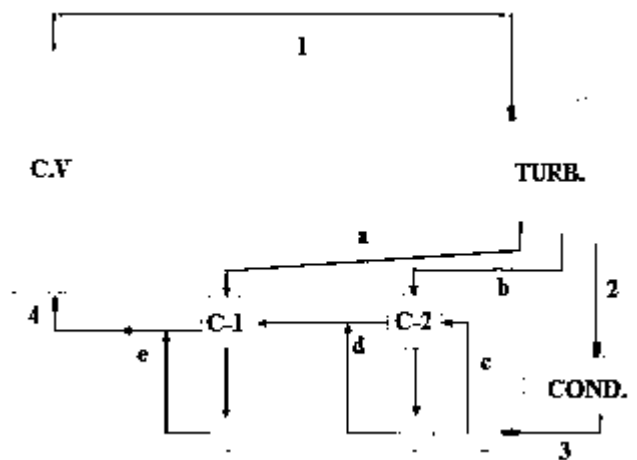


Figura 2.10. Ciclo Regenerativo con dos extracciones.

Comúnmente en las centrales termoeléctricas de media y alta tensión y alta capacidad se tienen pasos regenerativos y de recalentamiento, al aumentar el número de éstos la eficiencia del ciclo.

El problema al respecto es la inversión y mantenimiento del equipo, en cada caso particular debe hacerse un balance técnico-económico y con base a este se va a determinar el número de extracción y recalentamiento.

En plantas modernas se cuentan con hasta seis etapas de extracción y recalentamiento logrando así eficiencias termodinámicas de hasta 40%. Para sistemas de muchos pasos, el calculo de eficiencias lleva a fórmulas muy laboriosas, sin embargo la deducción de las mismas es sencilla.

Un arreglo sencillo de este tipo de ciclos se muestra en la figura 2.11

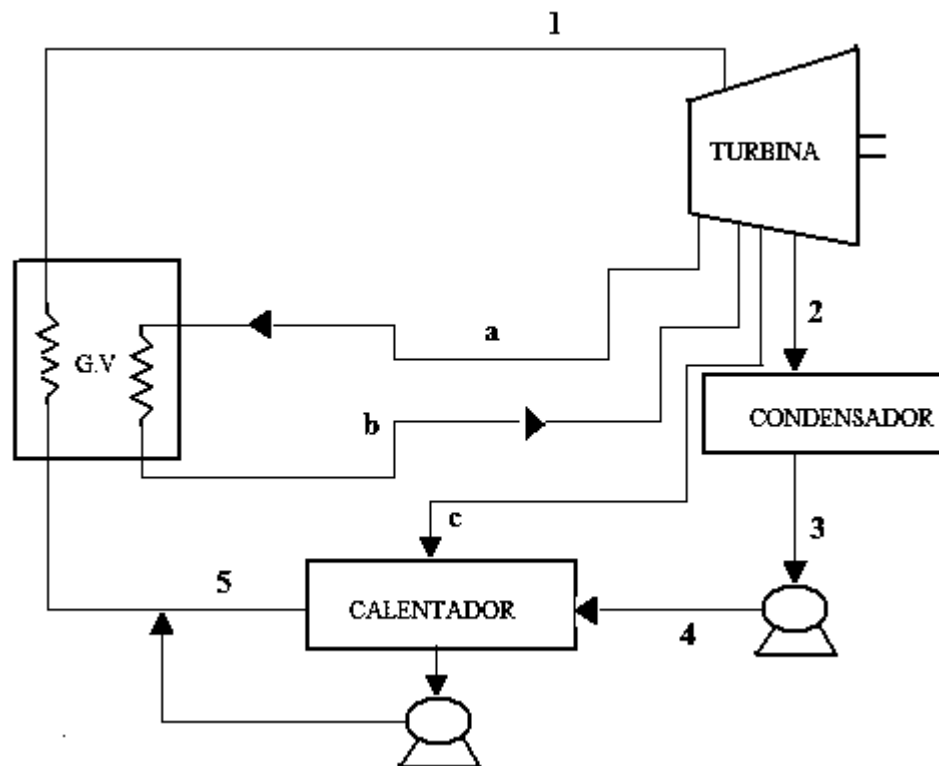


Figura 2.11 Ciclo de vapor, un paso de recalentamiento y un paso regenerativo
Para este caso la eficiencia termodinámica es:

$$e = \frac{(h_1 - h_a) + (h_b - h_c) + \left(1 - \frac{m_c}{m_1}\right)(h_c - h_2)}{h_1 - h_5 + (h_b - h_a)} \quad (2.16)$$

2.2.8 CICLO COMBINADO

Existen numerosas posibilidades de combinar entre si dos ó más ciclos termodinámicos que evolucionan a diferentes temperaturas. Es fácil demostrar que el rendimiento de esas instalaciones combinadas es mejor que el de cada una de las plantas que se componen por separado.

Algunos intentos de combinar entre si dos ciclos distintos ya se han abandonado, como fue el caso del ciclo binario de mercurio y agua. Otras instalaciones combinadas como el ciclo de Kalina están aún en desarrollo y no es fácil prever su futuro.

Las plantas que si han sustentado son los ciclos combinados de turbina de gas y vapor en los que se aprovecha parte de la energía térmica de los gases del escape del ciclo de gas y vapor.

Una planta de ciclos combinados de turbina de gas y vapor actual tiene una potencia de 400 MW de potencia, un eje común al que están interconectadas las dos turbinas cada una con su generador, la de gas y de vapor como se muestra en la figura 2.12. La complejidad del ciclo crece cuando se quiere mejorar el rendimiento del ciclo.

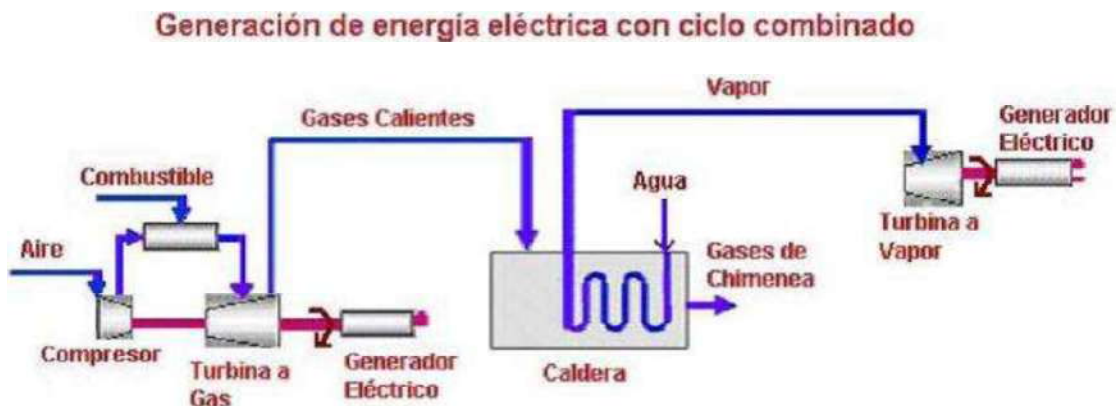


Figura 2.12. Diagrama del ciclo combinado

La eficiencia neta de la central, estará dada por la siguiente expresión:

$$e = \frac{(P_1 + P_2) - P_s}{Q_c} \quad (2.17)$$

Donde :

P_1 =Potencia producida por el generador uno, accionado por la turbina de gas.

P_2 =Potencia producida por el generador dos, accionado por la turbina de vapor.

P_s = Potencia total consumida en la planta para servicios propios.

Q_c =Potencia calorífica inyectada al sistema, al generador de vapor y a los gases en la cámara de combustión.

Los ciclos de turbina de gas más complejos tienen tres niveles de presión en el generador de vapor con un recalentamiento intermedio y refrigeración de álabes en la turbina de gas. Con este tipo de plantas se alcanzan rendimientos del 60%, cifra que ningún otro ciclo conocido actualmente puede igualar.

2.2.9 CICLOS BINARIOS

Es considerable mencionar que hasta ahora se ha considerado el agua como único fluido de trabajo, debido a que es abundante, barato y no tóxico, químicamente estable y relativamente no corrosivo, sin embargo, no es el único fluido usado en los sistemas de generación de vapor.

El agua es menos satisfactoria que algunos otros fluidos de trabajo respecto a sus características, ya que su temperatura crítica es solamente de 314.74°C que es aproximadamente 225°C inferior a la temperatura máxima permitida en la entrada de la turbina. Por esto, para alcanzar una temperatura mas alta y por lo tanto un rendimiento térmico elevado es necesario analizar otro tipo de sustancias que alcanzan temperaturas más altas.

El estudio termodinámico de diversas sustancias como el mercurio, sodio, potasio, azufre, bióxido de carbono, refrigerantes, etc. Ha dado lugar al diseño de los llamados ciclos binarios.

Un ciclo binario es el sistema en el cual existen dos fluidos de trabajo, de hecho existen dos tipos de ciclos binarios que se han desarrollado:

- 1.- Cuando se utilizan dos fluidos de trabajo siguiendo cada fluido un ciclo Rankine.
- 2.- Se le denomina también ciclo binario cuando se tiene un sistema donde los llamados fluidos no sigue el ciclo Rankine, sino un proceso determinado comúnmente en un intercambiador de calor donde se utiliza como fluido superior, el agua, el aire, etc. Y como fluido inferior un refrigerante.

En un ciclo de potencia binario se utilizan, dos fluidos de trabajo, uno con buenas características a altas temperaturas y otro con buenas características a temperaturas más bajas, dentro del rango operativo. En la Figura 2.13 se muestra un diagrama esquemático de un ciclo binario que utiliza mercurio y agua. En esta disposición se combinan dos ciclos Rankine, uno el seguido por el mercurio, normal, y el otro seguido por el agua con sobrecalentamiento, de modo que el calor cedido por el ciclo de alta temperatura Hg se utiliza como energía calorífica para vaporizar el ciclo a baja temperatura. Esta transferencia de energía se realiza en un intercambiador de calor, que funciona como condensador del vapor de mercurio y de caldera para la vaporización del agua, sin tomarla de otra caldera como se muestra en la figura 2.14.

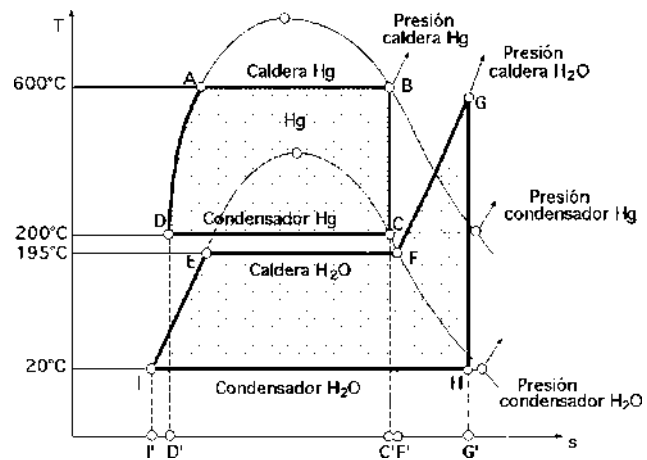


Figura 2.13. Ciclo Binario Agua-Mercurio

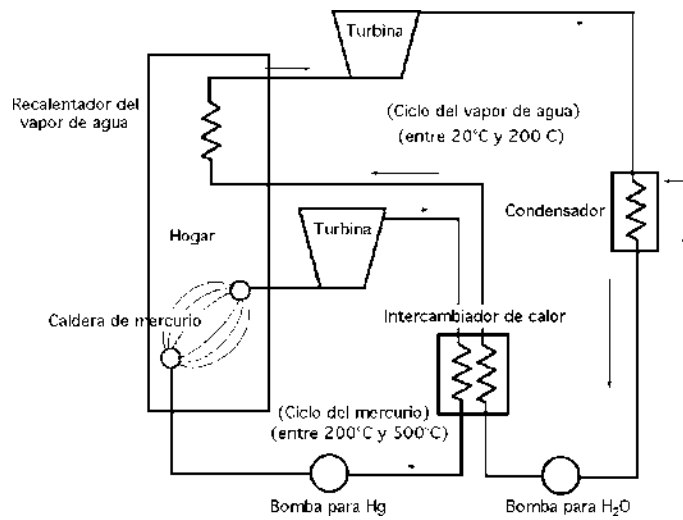


Figura 2.14. Diagrama del Ciclo Binario Agua-Mercurio

2.3 CAPACIDAD DE ENERGÍA TERMOELÉCTRICA EN MÉXICO Y EN EL MUNDO

La capacidad mundial de generación de energía eléctrica mundial en los últimos años ascendió a 3,626 GW, lo cual significó un incremento de 3.3% respecto al año anterior. En general, las centrales termoeléctricas convencionales mantienen la mayor participación en la capacidad, a excepción de algunos países como son Francia, donde la energía nuclear predomina, o Canadá donde la mayor participación es de centrales hidroeléctricas.

Las estimaciones internacionales reportadas proyectan que el carbón y el gas natural continuarán como los principales combustibles para la generación de energía eléctrica. El consumo de combustóleo ha disminuido desde mediados de los setenta debido, en parte, a los precios altos y a la mejora en eficiencias tecnológicas con base a gas natural.

El carbón representa cerca del 70% de las reservas energéticas mundiales de combustibles fósiles conocidos actualmente. Constituye, y probablemente seguirá constituyendo en un futuro próximo, la materia prima energética más utilizada en la producción de energía eléctrica a escala mundial.

En México hay 30 plantas termoeléctricas, 13 plantas hidroeléctricas y una planta dual termoeléctrica e hidroeléctrica. En total, en México hay 44 plantas productoras de energía.

Por lo cual es fácil decir que es las termoeléctricas son la principal fuente de generación de energía eléctrica en el país. Actualmente en México se cuenta con una capacidad de generación de energía eléctrica de 32,600 MW aproximadamente. Donde la generación de energía de Productores independientes cuenta con 10,300 MW mientras que la CFE cuenta con 22,250 MW aproximadamente.

La generación de energía eléctrica de producción independiente han generado en los últimos siete años a partir del 2002 alrededor de 10 mil MW mientras que la CFE sólo aumento su producción en 2,569 MW en el mismo periodo.

2.4 APROXIMACIÓN DE FUNCIONES POR POLINOMIOS

El estudio de la teoría de aproximación de funciones comprende dos tipos generales de problemas. Uno se presenta cuando una función se da de manera explícita, pero se quiere encontrar un tipo más simple de ella, por ejemplo un polinomio, que nos sirva para determinar los valores aproximados de una función dada. Otro problema de la teoría se refiere a la búsqueda de la función óptima que podamos emplear para representar un conjunto de datos.

Cuando se trata de aproximación polinomial se establecen los métodos de interpolación de Newton, Lagrange y otros métodos más. Para encontrar la ecuación de la curva que contiene a todos y cada uno de los n puntos que definen a una función tabular dada, que se representa con todos los puntos de la figura 2.15. Esta ecuación resulta ser algebraica de grado $(n-1)$.

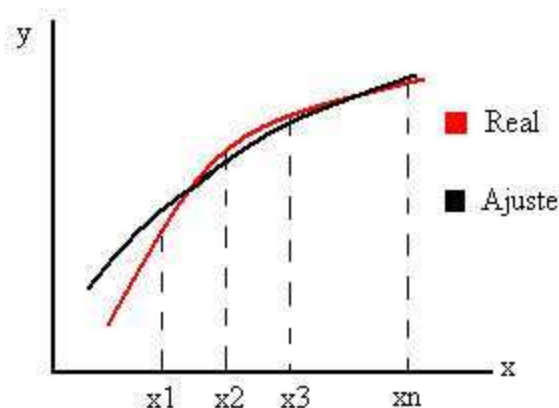


Figura 2.15 Representacion de un ajuste de curva

Obsérvese que en la figura 2.14 aparecen n puntos y que en la figura curva continua representa la aproximación polinomial de estos; es decir, la representación geométrica de los métodos de interpolación. Ahora se trata de encontrar la ecuación de una curva que, aunque no pase por todos los puntos, tenga pocas variaciones (sea suave, como la curva de los trazos de la figura anterior). y pase lo mas ceca posible de todos. Generalmente lo más cerca posible se obtiene imponiendo el criterio de los mínimos cuadrados. Antes de aplicar este criterio, debe de escogerse la forma de curva más suave que se va a ajustar al conjunto

de puntos dados. La ecuación de esa curva puede obtenerse por conocimiento previo del problema, es decir, o la interpretación física del fenómeno, o en forma arbitraria observando que ecuación conocida describe aproximadamente a esta curva. En lo que sigue, la curva que se va a ajustar, es la gráfica de un polinomio de grado conocido m .

2.4.1 METODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS

Considérese el problema de ajustar un conjunto de n muestras definidas por los puntos $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ a una recta de la forma:

$$y = a_0 + a_1x + e \quad (2.18)$$

En donde a_0, a_1 son constantes que representan la ordenada al origen y la pendiente de la recta respectivamente, en tanto que e es la diferencia entre el modelo y las observaciones. En la figura 2.16 se observa un ejemplo para esta ecuación.

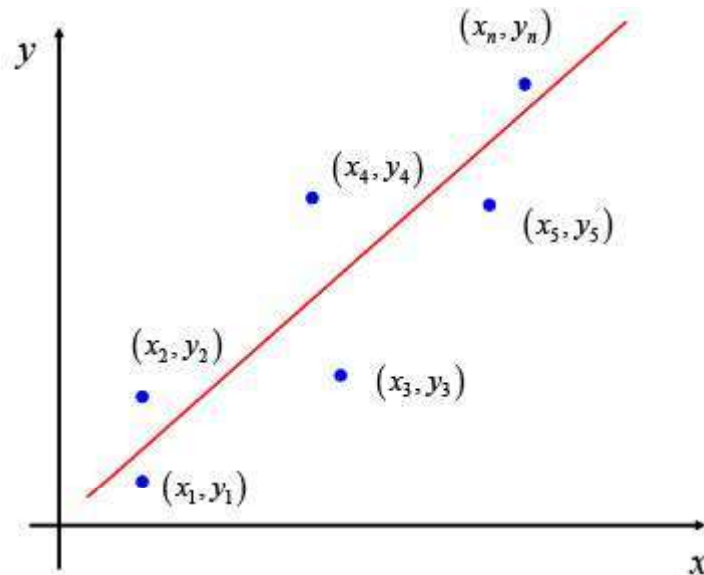


Figura 2.16 Ejemplo de una aproximación de primer orden

Reordenando la ecuación (2.18)

$$e = y - a_0 - a_1x \quad (2.19)$$

Por lo tanto, el error o residuo es la diferencia entre el valor real de “ y ” y el valor aproximado, $a_0 + a_1x$, predicho por la ecuación lineal.

Para determinar los valores de las constantes a_0 y a_1 , se deriva la ecuación (2.20) con respecto a cada uno de los coeficientes:

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{i,medida} - y_{i,calculada})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \quad (2.20)$$

Derivando respecto a a_0 y a_1

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i) \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i) x_i \quad (2.22)$$

Igualando a cero:

$$0 = \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a_0 - \sum_{i=1}^n a_1 x_i \quad (2.23)$$

$$0 = \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n a_0 x_i - \sum_{i=1}^n a_1 x_i^2 \quad (2.24)$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones se tiene:

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (2.25)$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (2.26)$$

En donde $\bar{y}$ y $\bar{x}$ son la media de y y x , respectivamente, quedándonos entonces la siguiente ecuación para a_0 :

$$a_0 = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum y_i \sum x_i^2}{\sum x_i^2 - n \sum x_i^2} \quad (2.27)$$

Ejemplo: Determine la recta por los mínimos cuadrados representados por los puntos:
 $(1,0)$, $(2,1)$, $(3,4)$, $(4,7)$, $(5,9)$

En la siguiente tabla se muestran los elementos necesarios para utilizar la ecuación (2.26) y (2.27).

	x	y	xy	x^2	$y_{calculada}$
	1	0	0	1	-0.6
	2	1	2	4	1.8
	3	4	12	9	4.2
	4	7	28	16	6.6
	5	9	45	25	9
Σ	15	21	87	55	

Por lo que se tiene, $a_1 = 2.4$ y $a_0 = -3$

Finalmente se muestra la gráfica del problema y su ajuste en la figura 2.17:

$$y = -3 + 2.4x$$

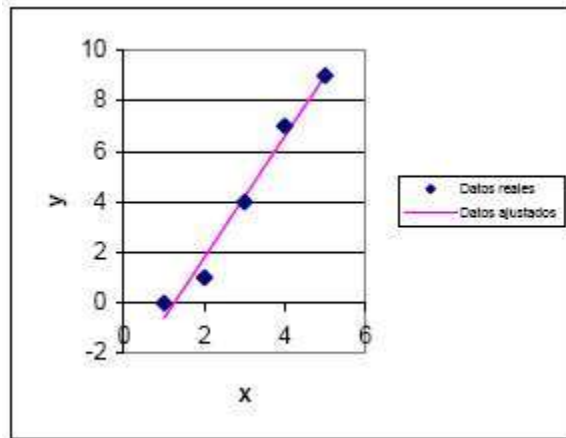


Figura 2.17 Ajuste de primer orden y ecuación del ejemplo

Para obtener una ecuación de segundo grado se tiene:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + e \quad (2.28)$$

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2)^2 \quad (2.29)$$

Derivando cada uno de los coeficientes desconocidos:

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2) \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2)x_i \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2)x_i^2 \quad (2.32)$$

Igualando a cero y reordenando:

$$na_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.33)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (2.34)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \quad (2.35)$$

Ejemplo2: Ajustar una parábola de mínimos cuadrados, a los datos contenidos en la tabla siguiente:

X	Y
0	2.4
1	2.1
2	3.2
3	5.6
4	9.3
5	14.6
6	21.9

Solución:

x	y	x ²	x ³	x ⁴	xy	x ² y	ajustada
0	2.4	0	0	0	0	0	2.5095
1	2.1	1	1	1	2.1	2.1	2.0428
2	3.2	4	8	16	6.4	12.8	3.0427
3	5.6	9	27	81	16.8	50.4	5.5092
4	9.3	16	64	256	37.2	148.8	9.4423
5	14.6	25	125	625	73	365	14.842
6	21.9	36	216	1296	131.4	788.4	21.7083
Σ	21	59.1	91	441	227.5	1367.5	

Se forma el sistema de ecuaciones:

$$7a_0 + 21a_1 + 91a_2 = 59.1$$

$$21a_0 + 91a_1 + 441a_2 = 266.9$$

$$91a_0 + 441a_1 + 2275a_2 = 1367.5$$

Resolviendo:

$$a_0 = 2.5095$$

$$a_1 = -1.2$$

$$a_2 = 0.7333$$

Finalmente se tiene que:

$$y = 2.5095 - 1.2x + 0.7333x^2$$

Finalmente la figura 2.17 muestra la gráfica del problema y su ajuste:

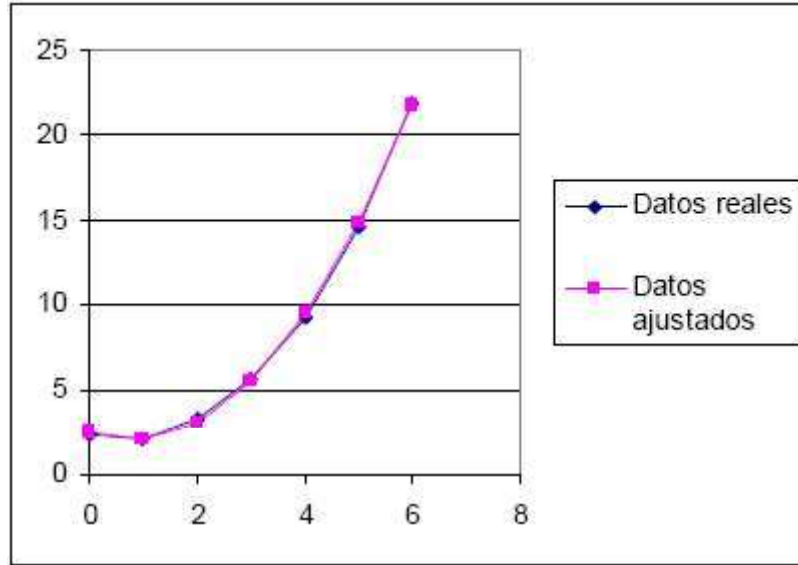


Figura 2.18 Gráfica de los datos reales y el ajuste del ejemplo 2

Para obtener el polinomio de tercer grado tenemos:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (2.36)$$

Y su sistema de ecuaciones será:

$$na_0 + a_1 \sum_{i=0}^n x + a_2 \sum_{i=0}^n x^2 + a_3 \sum_{i=0}^n x^3 = \sum_{i=0}^n y \quad (2.37)$$

$$a_0 \sum_{i=0}^n x + a_1 \sum_{i=0}^n x^2 + a_2 \sum_{i=0}^n x^3 + a_3 \sum_{i=0}^n x^4 = \sum_{i=0}^n xy \quad (2.38)$$

$$a_0 \sum_{i=0}^n x^2 + a_1 \sum_{i=0}^n x^3 + a_2 \sum_{i=0}^n x^4 + a_3 \sum_{i=0}^n x^5 = \sum_{i=0}^n x^2 y \quad (2.39)$$

$$a_0 \sum_{i=0}^n x^3 + a_1 \sum_{i=0}^n x^4 + a_2 \sum_{i=0}^n x^5 + a_3 \sum_{i=0}^n x^6 = \sum_{i=0}^n x^3 y \quad (2.40)$$

Así sucesivamente va aumentando la matriz a medida de que el polinomio es más grande debido a que son más constantes y se propone resolver por los métodos de Gauss y Gauss-Jordan, o cualquier otro método que resuelva sistemas de ecuaciones.

2.4.2 APROXIMACION DE POLINOMIOS DE TAYLOR

Sea una función $f(x)$ en un intervalo cerrado, que admite hasta derivadas de orden $n+1$ continuas en dicho intervalo, y

$P_n(x, x_0)$ su polinomio de Taylor de grado n en el punto x_0 de $[a, b]$.

Para aproximar una función en un intervalo, es importante medir el error en la aproximación realizada. Un criterio para medir dicho error que se comete al aproximar $f(x)$ por $P_n(x, x_0)$ en $[a, b]$, es generalizar el método de los mínimos cuadrados que conduce a la integral:

$$error\ x_0 = \frac{1}{A} \int_a^b (f(x) - P_n(x, x_0))^2 dx \quad (2.41)$$

Donde:

$$A = \int_a^b (f(x))^2 dx \quad (2.42)$$

Es el polinomio de grado n que pasa por un punto dado, y tiene las n derivadas iguales a la función en ese punto.

El polinomio de Taylor para una función f en x_0 es:

$$P_n(x) = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0) + (1/2!) f''(x_0)(x - x_0)^2 + \dots + (1/n!) f^{(n)}(x_0)(x - x_0)^n \quad (2.43)$$

Con un error conocido (resto R_n) igual a:

$$f(x) - P_n(x) = R_n(x) = (1/(n+1)!) f^{(n+1)}(\xi)(x - x_0)^{n+1} \quad (2.44)$$

2.4.3 POLINOMIOS DE LAGRANGE

Interpolar por este método consiste en construir un polinomio $P_n(x)$ de grado máximo n , que pasa por $n+1$ puntos dados. La función $f(x)$ tabulada en $n+1$ puntos x_k es:

$$f(x_k) = P_n(x_k) \text{ para todo } k=0,1,2,\dots,n$$

El polinomio $P_n(x)$ está dado por una combinación de los respectivos polinomios de Lagrange $L_{n,k}(x)$

$$P_n(x) = f(x_0)L_{n,0}(x) + f(x_1)L_{n,1}(x) + \dots + f(x_n)L_{n,n}(x) \quad (2.45)$$

y los polinomios de Lagrange se definen como:

$$L_{n,k}(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{k-1})(x - x_{k+1})\dots(x - x_n)}{(x_k - x_0)(x_k - x_1)\dots(x_k - x_{k-1})(x_k - x_{k+1})\dots(x_k - x_n)} \quad (2.46)$$

El error dado por éste método de interpolación es:

$$f(x) - P_n(x) = R_n(x) = (1/(n+1)!) f^{(n+1)}(\xi)(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_n) \quad (2.47)$$

Capítulo 3

Determinación directa de los polinomios de Aproximación de las Tablas de vapor.

3.1 DETERMINACION DE LOS POLINOMIOS EN MATLAB EN BASE AL METODO DE MINIMOS CUADRADOS.

En este punto se determina directamente los polinomios de aproximación obteniendo los datos reales de las tablas de vapor saturado.

a) POLINOMIOS PARA DETERMINAR ENTALPIA DE LÍQUIDO SATURADO

De la tabla de vapor de agua obtenemos los primeros veinte datos de las presiones que son:

$p1 = [.04 \ .06 \ .08 \ .1 \ .2 \ .3 \ .4 \ .5 \ .6 \ .7 \ .8 \ .9 \ 1 \ 1.5 \ 2 \ 2.5 \ 3 \ 3.5 \ 4 \ 4.5]$

Además los primeros veinte datos de la entalpia de liquido saturado.

$hf1 = [121.46 \ 151.53 \ 173.88 \ 191.83 \ 251.4 \ 289.23 \ 317.58 \ 340.49 \ 359.86 \ 376.7 \ 391.66 \ 405.15 \ 417.46 \ 467.11 \ 504.7 \ 535.37 \ 561.47 \ 584.33 \ 604.74 \ 623.25];$

Ahora se muestra la gráfica de valores reales que es (p1,hf1) en la figura 3.1

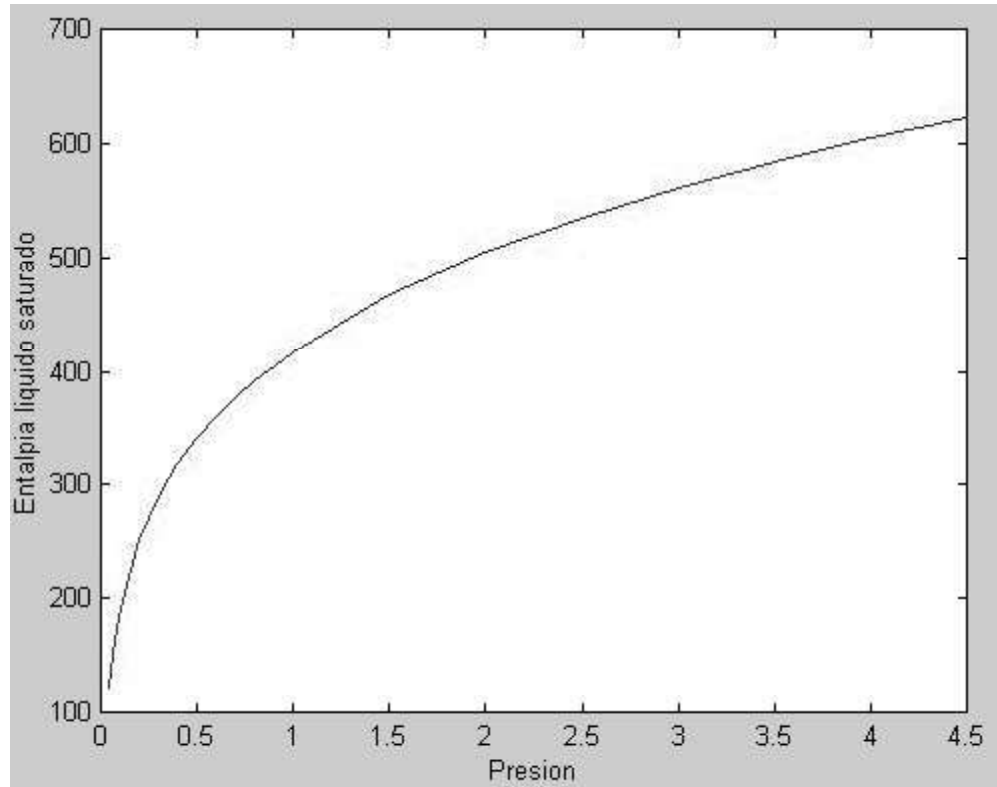


Figura 3.1 Gráfica Presión-Entalpía de líquido saturado. Parte 1

Con la función de matlab polyfit obtenemos polinomios de aproximación de distintos grados, en función de los datos mostrados de presión y entalpía de líquido saturado para hacer ajuste a la curva real.

Polifyt(x ,y, orden del polinomio)

Para este caso, empezando desde un 3er Orden:

poly3=polyfit(p1,hf1,3)

poly3 =15.4364 -132.1013 390.2848 153.8470

Por lo tanto hf1= $15.4364 p^3 - 132.1013 p^2 + 390.2848 p + 153.8470$

Para el polinomio de 4º Orden:

poly4=polyfit(p1,hf1,4)

poly4 = -7.4036 79.2585 -299.5478 524.7347 134.3620

Por lo tanto hf1= $-7.4036 p^4 + 79.2585 p^3 - 299.5478 p^2 + 524.7347 p + 134.3620$

Para el polinomio de 5º Orden:

poly5=polyfit(p1,hf1,5)

poly5 = 4.4032 -55.9566 264.7062 -584.0680 673.9491 119.8432

Por lo tanto hf1= 4.4032p⁵ -55.9566p⁴+264.7062p³-584.0680p²+673.9491p + 119.8432

Para el polinomio de 6º Orden:

poly6=polyfit(p1,hf1,6)

hf1=-2.8356p⁶ 41.9892p⁵-241.9892p⁴+687.5934p³-1019p²+841.6808p+107.08

Para el polinomio de 7º Orden:

poly7=polyfit(p1,hf1,7)

hf1=1.8129p⁷-30.56p⁶+207.801p⁵-731.30p⁴+1462.7p³-1554.7p²+995.7684p+97.5371

Haciendo el ajuste por el método de mínimos cuadrados para saber cual curva de los polinomios de diversos grados se asemeja a la real.

ajuste3=poly3(1)*p1.^3+poly3(2)*p1.^2+poly3(3)*p1+poly3(4);

ajuste4=poly4(1)*p1.^4+poly4(2)*p1.^3+poly4(3)*p1.^2+poly4(4)*p1+poly4(5);

ajuste5=poly5(1)*p1.^5+poly5(2)*p1.^4+poly5(3)*p1.^3+poly5(4)*p1.^2+poly5(5)*p1
+poly5(6);

ajuste6=poly6(1)*p1.^6+poly6(2)*p1.^5+poly6(3)*p1.^4+poly6(4)*p1.^3
+poly6(5)*p1.^2+poly6(6)*p1+poly6(7);

ajuste7=poly7(1)*p1.^7+poly7(2)*p1.^6+poly7(3)*p1.^5+poly7(4)*p1.^4
+poly7(5)*p1.^3+poly7(6)*p1.^2+poly7(7)*p1+poly7(8);

En la figura 3.2 se muestra la aproximación de las gráficas de los polinomios graficando presión-ajustes para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

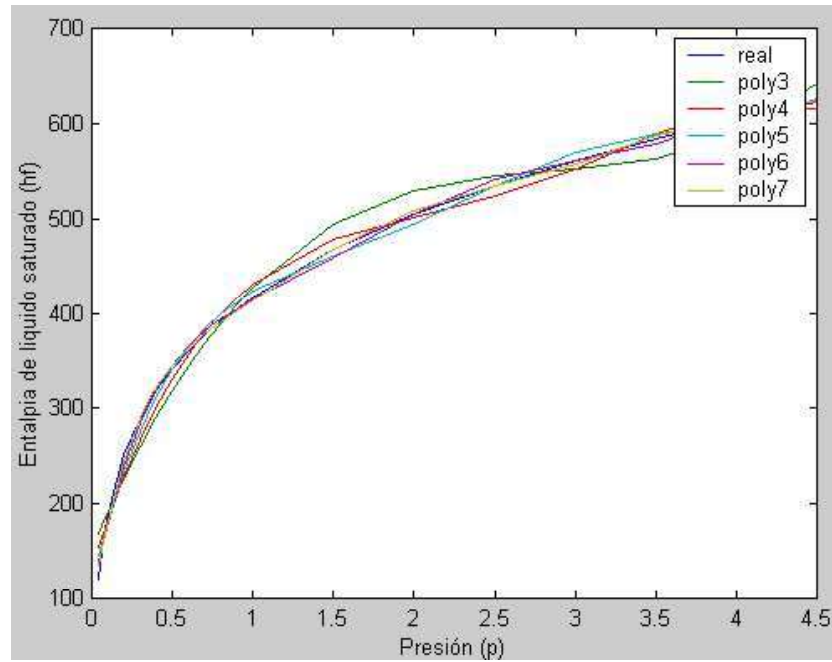


Figura 3.2. Muestra la gráfica de los ajustes de los polinomios de aproximación (h_f)

En la figura 3.2 se observa que la curva más aproximada es la del polinomio de orden siete (poly7), por lo tanto es el polinomio que se utilizará para el cálculo de la entalpía de líquido saturado. En la figura 3.3 se muestra la gráfica poly7 y Real para una mejor vista de la aproximación anterior.

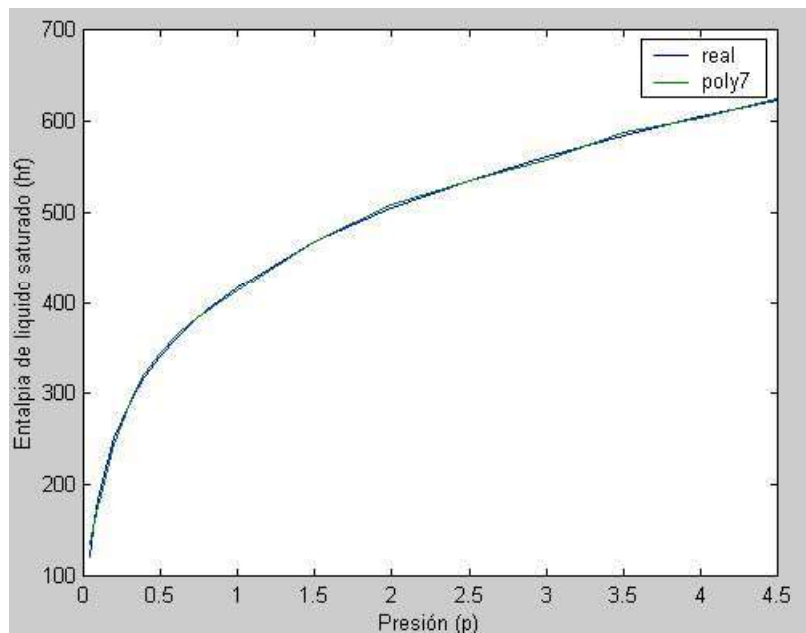


Figura 3.3. Curvas poly7 y real de h_f .

Por lo tanto el polinomio de aproximación para encontrar la entalpia del liquido saturado en los primeros veinte datos es:

$$hf1=1.8129p^7-30.56p^6+207.801p^5-731.30p^4+1462.7p^3-1554.7p^2+995.7684p+97.5371$$

Para obtener el segundo polinomio partiendo de los últimos treinta datos de presión y entalpias de liquido saturado

$p2=[5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30 \ 35 \ 40 \ 45 \ 50 \ 60 \ 70 \ 80 \ 90 \ 100 \ 110 \ 120 \ 130 \ 140 \ 150 \ 160 \ 170 \ 180 \ 190 \ 200 \ 220.9]$

$hf2=[640.23 \ 670.56 \ 697.22 \ 721.11 \ 742.83 \ 762.83 \ 762.81 \ 844.84 \ 908.79 \ 962.11 \ 1008.4 \ 1049.8 \ 1087.3 \ 1121.9 \ 1154.2 \ 1213.4 \ 1267 \ 1316.6 \ 1363.3 \ 1407.6 \ 1450.1 \ 1491.3 \ 1531.5 \ 1571.1 \ 1610.5 \ 1650.1 \ 1690.3 \ 1732 \ 1776.5 \ 1826.3 \ 2099.3]$

En la figura 3.4 se muestra la grafica P2-hf2 que va a ser la curva a aproximar.

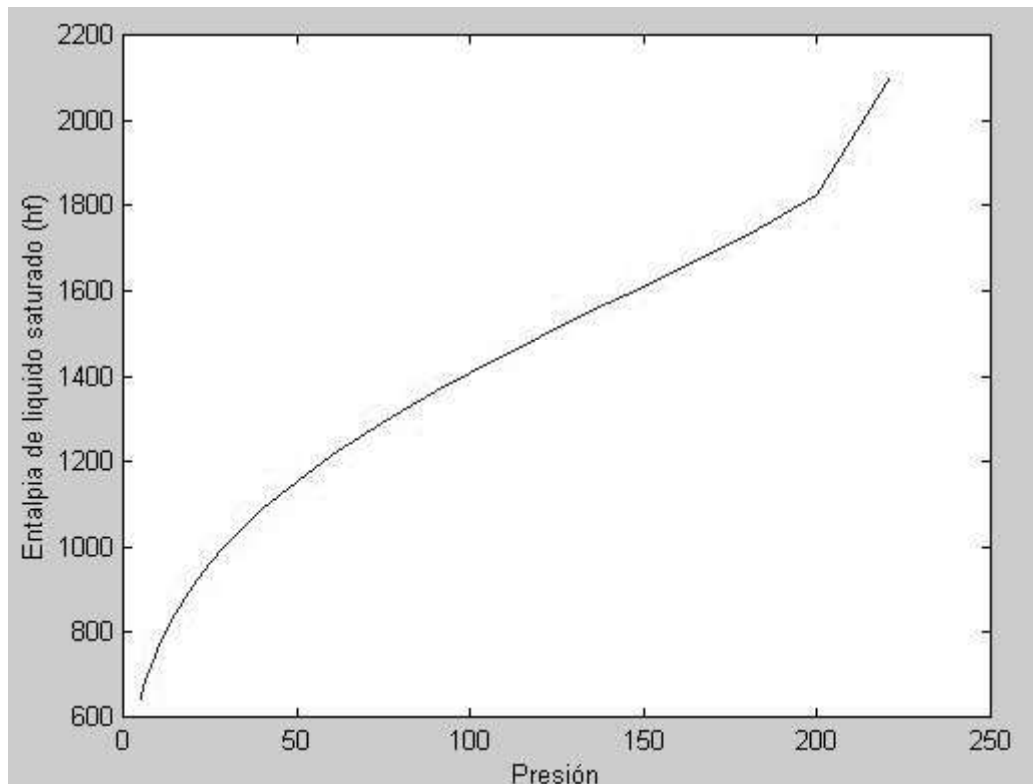


Figura 3.4. Muestra la gráfica de los datos p2 y hf2

Para obtener los polinomios usamos nuevamente en el matlab la función polyfit y partiendo de ahí seguimos los pasos anteriores.

Para el polinomio de tercer grado

```
poly3=polyfit(p2,hf2,3)
```

```
poly3 =0.0003 -0.1001 15.3982 607.5927
```

$$hf2=0.0003p^3-0.1001p^2+15.3982p+607.5927$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(p2,hf2,4)
```

```
poly4 = -0.0000 0.0004 -0.1173 16.1842 600.3807
```

$$hf2=-2.89 \times 10^{-7} p^4 + 0.0004 p^3 - 0.1173 p^2 + 16.1842 p + 600.3807$$

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(p2,hf2,5)
```

```
poly5 = 3.0094 \times 10^{-8} -1.6941 \times 10^{-5} 0.0036 -0.3804 24.0842 546.3910
```

$$hf2=3.0094 \times 10^{-8} p^5 - 1.6941 \times 10^{-5} p^4 + 0.0036 p^3 - 0.3804 p^2 + 24.0842 p + 546.3910$$

Haciendo ajuste por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste3=poly3(1)*p2.^3+poly3(2)*p2.^2+poly3(3)*p2+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*p2.^4+poly4(2)*p2.^3+poly4(3)*p2.^2+poly4(4)*p2+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*p2.^5+poly5(2)*p2.^4+poly5(3)*p2.^3+poly5(4)*p2.^2+poly5(5)*p2  
+poly5(6);
```

En la figura 3.5 se muestra la aproximación de las gráficas de los polinomios graficando presión-ajustes para así, identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

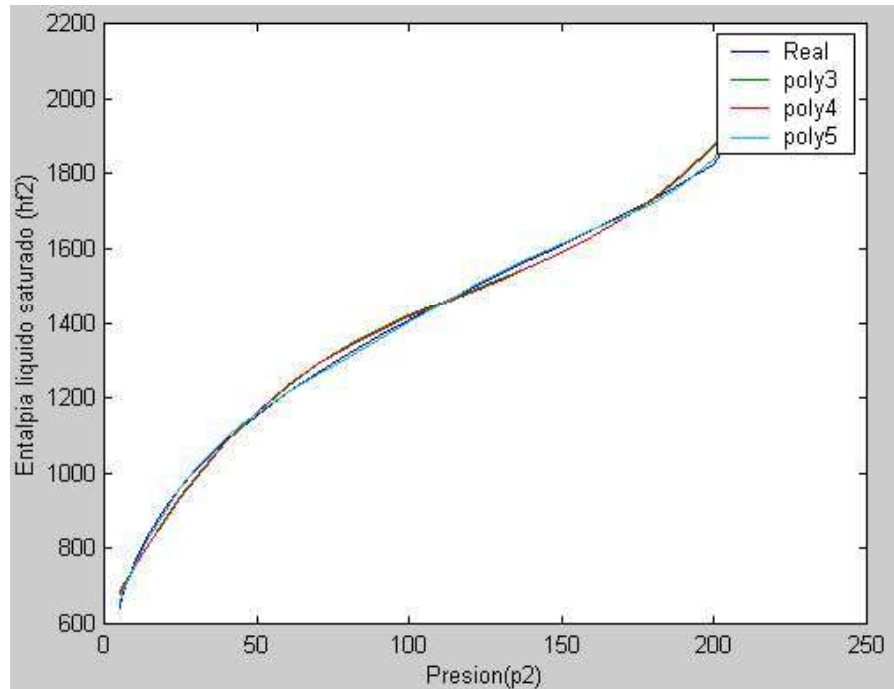


Figura 3.5 Muestra graficas de ajustes de polinomios de aproximación hf2.

En la figura 3.5 se observa que la curva más aproximada es la del polinomio de orden cinco (poly5), por lo tanto es el polinomio que se utilizará para el calculo de la entalpía de líquido saturado. En la figura 3.6 se muestra la gráfica poly5 y Real para una mejor vista de la aproximación anterior.

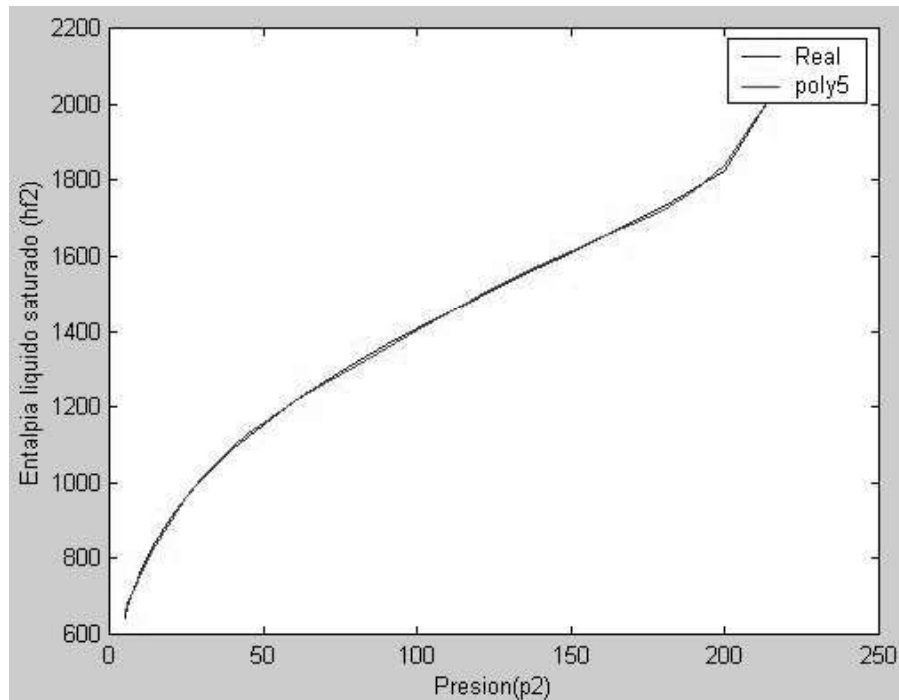


Figura 3.6. Curvas Real y poly5 de hf2.

Por lo tanto el polinomio de aproximación para encontrar la entalpia del liquido saturado en los treinta últimos datos de la tabla de vapor es:

$$hf2=3.0094 \times 10^{-8} p^5 - 1.6941 \times 10^{-5} p^4 + 0.0036 p^3 - 0.3804 p^2 + 24.0842 p + 546.3910$$

b) POLINOMIOS PARA DETERMINAR ENTALPIA DE VAPOR SATURADO

De la tabla de vapor de agua obtenemos los datos de la presión (p1) y entalpía de vapor saturado (hg1) que son:

$$p1 = [.04 .06 .08 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5]$$

$$hg1 = [2554.4 \ 2567.4 \ 2577 \ 2584.7 \ 2609.7 \ 2625.3 \ 2636.8 \ 2645.9 \ 2653.5 \ 2660 \ 2665.8 \ 2670.9 \ 2675.5 \ 2693.6 \ 2706.7 \ 2716.9 \ 2725.3 \ 2732.4 \ 2738.6 \ 2743.9]$$

En la figura 3.7 se muestra la gráfica real de la presión(p1) y la entalpía de vapor saturado(hg1) que es a la cual se va a ajustar con las gráficas de polinomios.

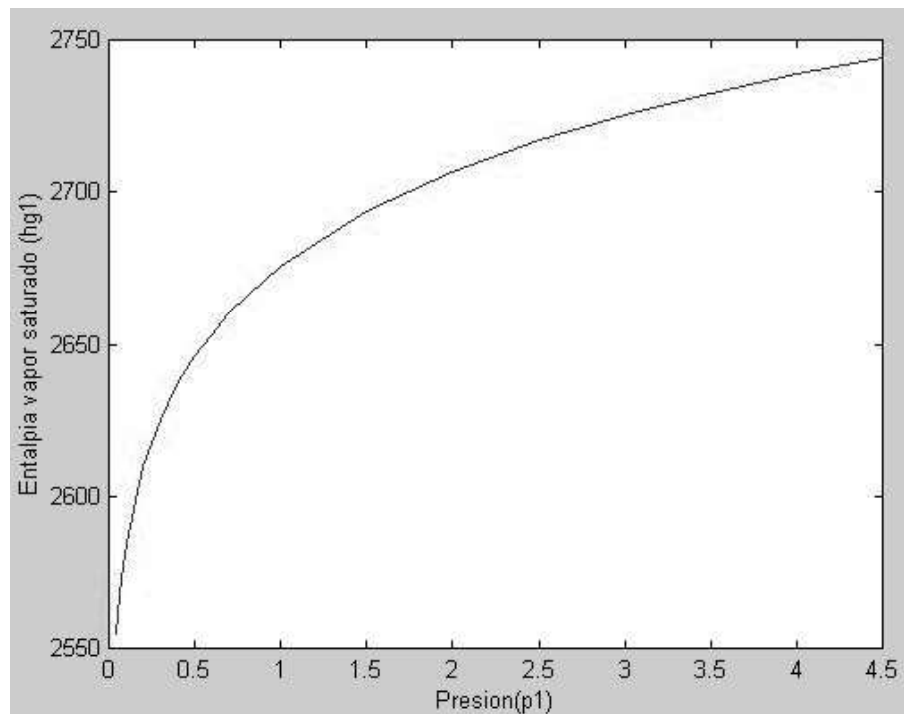


Figura 3.7. Muestra la gráfica Real de los datos p1-hg1.

Obteniendo los polinomios en matlab con la función polyfit

```
poly3=polyfit(p1,hg1,3)
```

```
poly3 =6.6471 -56.6343 160.9092 2569
```

```
hg1=6.6471p3-56.6343p2+160.9092p+ 2569
```

Para polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(p1,hg1,4)
```

```
poly4 =-3.2141 34.3543 -129.3288 219.278
```

```
hg1= -3.2141p4+34.3543p3-129.3288p2+219.278
```

Para polinomio de 5º grado

```
poly5 =polyfit(p1,hg1,5)
```

```
poly5= 1.9153 -24.333 115.018 -253.086 2542
```

```
hg1= 1.9153p5-24.333p4+115.018p3+284.182p2-253.086p+ 2542
```

Para polinomio de 6º grado

```
poly6=polyfit(p1,hg1,6)
```

```
hg1= -1.2453p6+18.4212p5-106.028p4+300.73p3-444.099p2+357.84p+2548.6
```

Haciendo el ajuste por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste3=poly3(1)*p1.^3+poly3(2)*p1.^2+poly3(3)*p1+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*p1.^4+poly4(2)*p1.^3+poly4(3)*p1.^2+poly4(4)*p1+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*p1.^5+poly5(2)*p1.^4+poly5(3)*p1.^3+poly5(4)*p1.^2+poly5(5)*p1  
+poly5(6);
```

```
ajuste6=poly6(1)*p1.^6+poly6(2)*p1.^5+poly6(3)*p1.^4+poly6(4)*p1.^3  
+poly6(5)*p1.^2+poly6(6)*p1+poly6(7);
```

En la figura 3.8 se muestra la aproximación de las gráficas de los polinomios graficando presión-ajustes para así identificar la curva mas semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

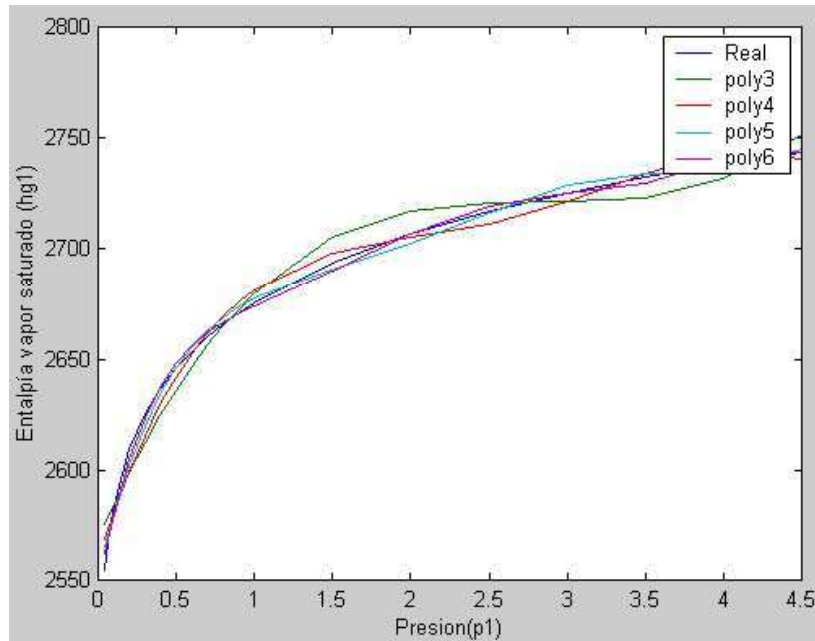


Figura 3.8 Muestra gráficas de ajustes de polinomios de aproximación hg_1 .

En la figura 3.8 se observa que la curva más aproximada es la del polinomio de orden seis (poly6), por lo tanto es el polinomio que se utilizará para el cálculo de la entalpia de vapor saturado. En la figura 3.9 se muestra la gráfica poly6 y Real para mejor claridad de la aproximación anterior.

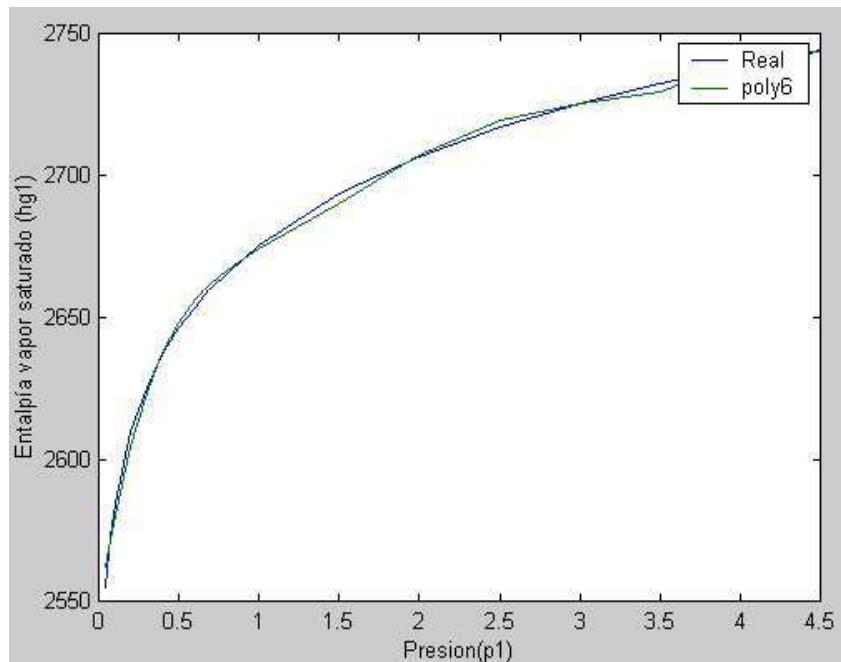


Figura 3.9 Curvas Real y poly6 de hg_1

Por lo tanto el polinomio de aproximación para encontrar la entalpía del líquido saturado en los treinta últimos datos de la tabla de vapor es:

$$hg1 = -1.2453p^6 + 18.4212p^5 - 106.028p^4 + 300.73p^3 - 444.099p^2 + 357.84p + 2548.6$$

Para obtener el Polinomio para la entalpía de vapor saturado (hg2) seguimos los mismos pasos anteriores en matlab. De la tabla de vapor de agua obtenemos los últimos 30 datos de presión (p2) y Entalpía de vapor saturado (hg2).

p2=[5 6 7 8 9 10 15 20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 220.9]

hg2=[2748.7 2756.8 2763.5 2769.1 2773.9 2778.1 2792.2 2799.5 2803.1 2804.2 2803.4 2801.4 2798.3 2794.3 2784.3 2772.1 2758 2742.1 2724.7 2705.6 2684.9 2662.2 2637.6 2610.5 2580.6 2547.2 2509.1 2464.5 2409.7 2099.3]

En la figura 3.10 se muestra la gráfica real de presión (p2) y entalpía de vapor saturado (hg2), que es a la cual se va aproximar con las curvas de los polinomios.

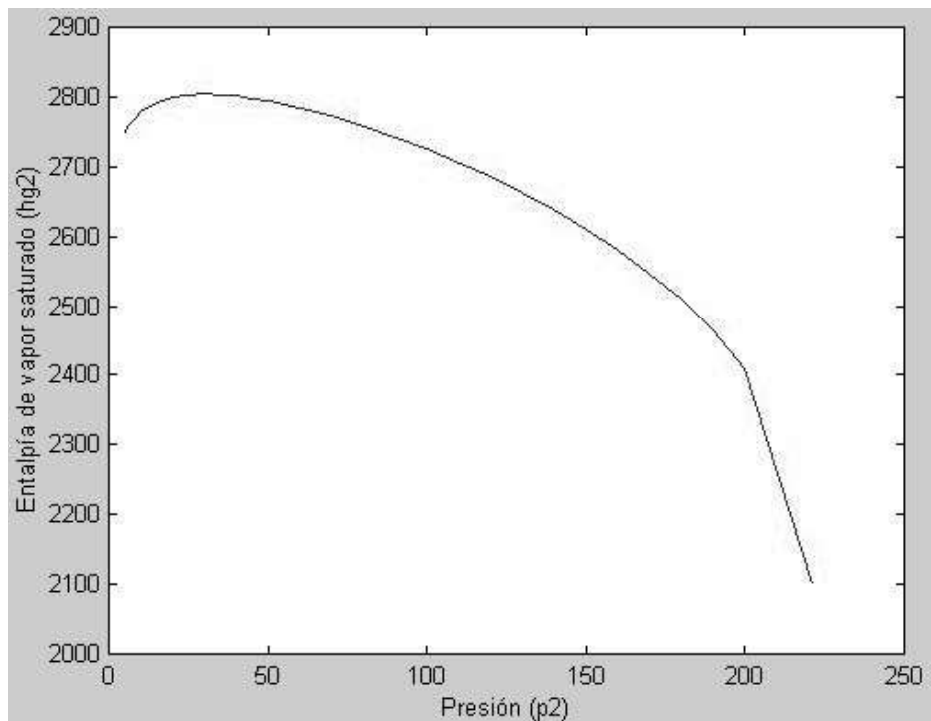


Figura 3.10 Gráfica real de datos p2-hg2

Obteniendo los polinomios en matlab con la función polyfit

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(p2,hg2,4)
```

```
hg2=-2.0186X10-6p4+8.029X10-4p3-0.1168p2+5.4433p+2729.5
```

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(p2,hg2,5)
```

```
hg2= -1.04446X10-8p5+3.7617X10-6p4- 3.241X10-4p3- 0.0247p2+2.7011p+2748.3
```

Para el polinomio de 6º grado

```
poly6=polyfit(p2,hg2,6)
```

```
hg2=-2.383X10-10p6+1.4845X10-7p5-3.625X10-5p4+0.0044p3- 0.2846p2+8.4549p+2716
```

Haciendo ajuste para elegir el polinomio por el método de mínimos cuadrados.

```
ajuste4=poly4(1)*p2.^4+poly4(2)*p2.^3+poly4(3)*p2.^2+poly4(4)*p2+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*p2.^5+poly5(2)*p2.^4+poly5(3)*p2.^3+poly5(4)*p2.^2+poly5(5)*p  
2+poly5(6);
```

```
ajuste6=poly6(1)*p2.^6+poly6(2)*p2.^5+poly6(3)*p2.^4+poly6(4)*p2.^3+poly6(5)*p  
2.^2+poly6(6)*p2+poly6(7);
```

En la figura 3.11 se muestran las aproximaciones de los ajustes de los polinomios a la curva real, para así seleccionar el polinomio que se asemeje más.

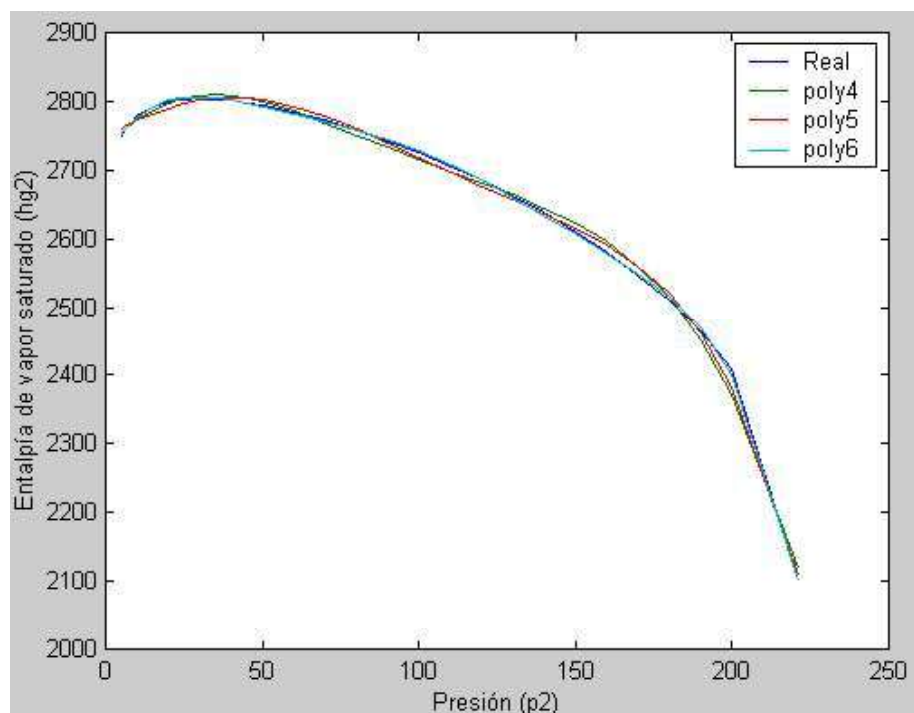


Figura 3.11 Gráfica de Curvas de Polinomios y Reales.

Se observa que el polinomio de orden seis es el que está encimado a la curva real por lo tanto es el polinomio que se utilizará. La figura 3.12 muestra la gráfica de las curvas Real y poly6 para obtener más claridad.

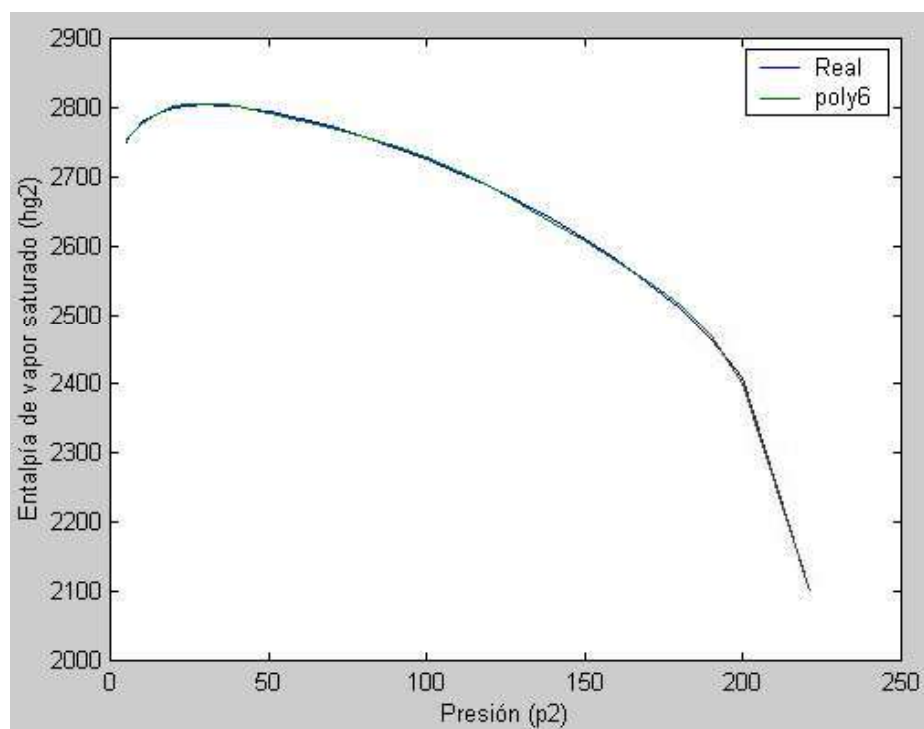


Figura 3.12. Curvas Real y Poly6 para hg2

Por lo tanto el polinomio más óptimo es el de sexto orden y es el que se utilizará para el cálculo de la entalpía de vapor saturado que es:

$$hg2 = -2.383 \times 10^{-10} p^6 + 1.4845 \times 10^{-7} p^5 - 3.625 \times 10^{-5} p^4 + 0.0044 p^3 - 0.2846 p^2 + 8.4549 p + 2716$$

c) POLINOMIOS PARA DETERMINAR ENTALPIA DE EVAPORACIÓN

De las tablas de vapor de agua obtenemos los primeros veinte datos de la presión (p1) y entalpía de evaporación (hfg1).

p1 = [.04 .06 .08 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5]

hfg1 = [2432.9 2415.9 2403.1 2392.8 2358.3 2336.1 2319.2 2305.4 2293.6 2283.3 2274.1 2265.8 2258 2226.5 2201.9 2181.5 2163.8 2148.1 2133.8 2120.7]

En la figura 3.13 se muestra la gráfica de los valores reales de la presión (p1) y de la entalpía de evaporación (hfg1) que es a la cual se va a aproximar.

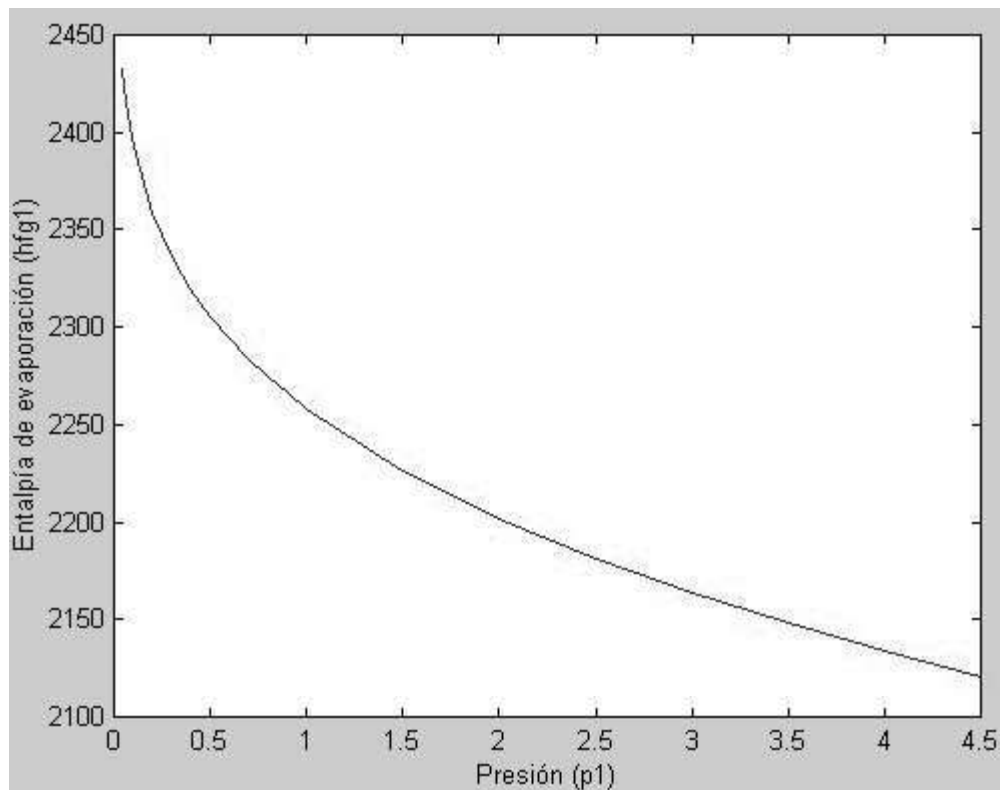


Figura 3.13 Gráfica de valores p1-hfg1

Obteniendo los polinomios en matlab con la función polyfit empezando en cuarto orden visto que en tercer orden está muy alejado de los valores reales.

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(p1,hfg1,4)
```

```
hfg1=4.1878p4-44.885p3+170.1584p2-305.4055p+2426.1
```

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(p1,hfg1,5)
```

```
hfg1=-2.4841p5+31.5788p4-149.5048p3+330.669p2-389.5844p+2434.3
```

Para el polinomio de 6º grado

```
poly6=polyfit(p1,hfg1,6)
```

```
hfg1=1.5963p6 - 23.6428p5 +136.3032p4 -387.5661p3 +575.527p2 - 484.007p+ 2441.5
```

Para el polinomio de 7º grado

```
poly7=polyfit(p1,hfg1,7)
```

```
hfg1=-1.0129p7+17.089p6-116.286p5+409.697p4-800.5495p3+874.8244p2-  
570.1p+2446.8
```

Obteniendo los ajustes para la obtención del polinomio adecuado por el método de los Mínimos cuadrados.

```
ajuste4=poly4(1)*p1.^4+poly4(2)*p1.^3+poly4(3)*p1.^2+poly4(4)*p1+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*p1.^5+poly5(2)*p1.^4+poly5(3)*p1.^3+poly5(4)*p1.^2+poly5(5)*p1  
+poly5(6);
```

```
ajuste6=poly6(1)*p1.^6+poly6(2)*p1.^5+poly6(3)*p1.^4+poly6(4)*p1.^3  
+poly6(5)*p1.^2+poly6(6)*p1+poly6(7);
```

En la figura 3.14 se muestran las gráficas real, y las de los polinomios de aproximación para notar la aproximación que se asemeje más a la curva real y así seleccionar el polinomio.

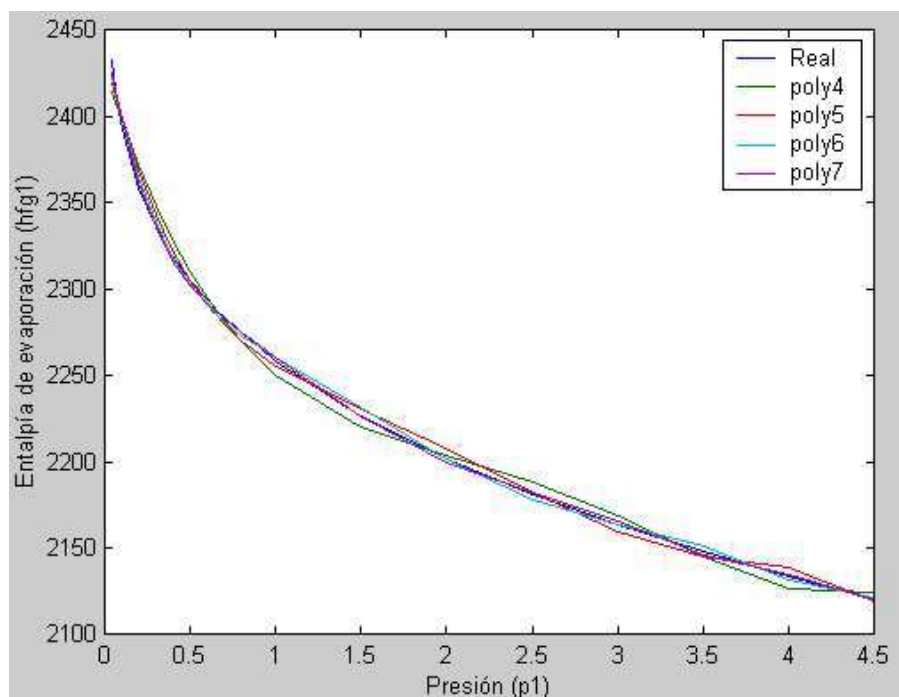


Figura 3.14. Grafica de curvas de polinomios y real

En la figura se observa que la curva más próxima a la real es la del polinomio de grado siete (poly7), aunque la curva del polinomio de grado seis (poly6) se acerca bastante la de grado 7 esta es más exacta por lo tanto será el polinomio a utilizar. La figura 3.15 muestra una mejor visualización.

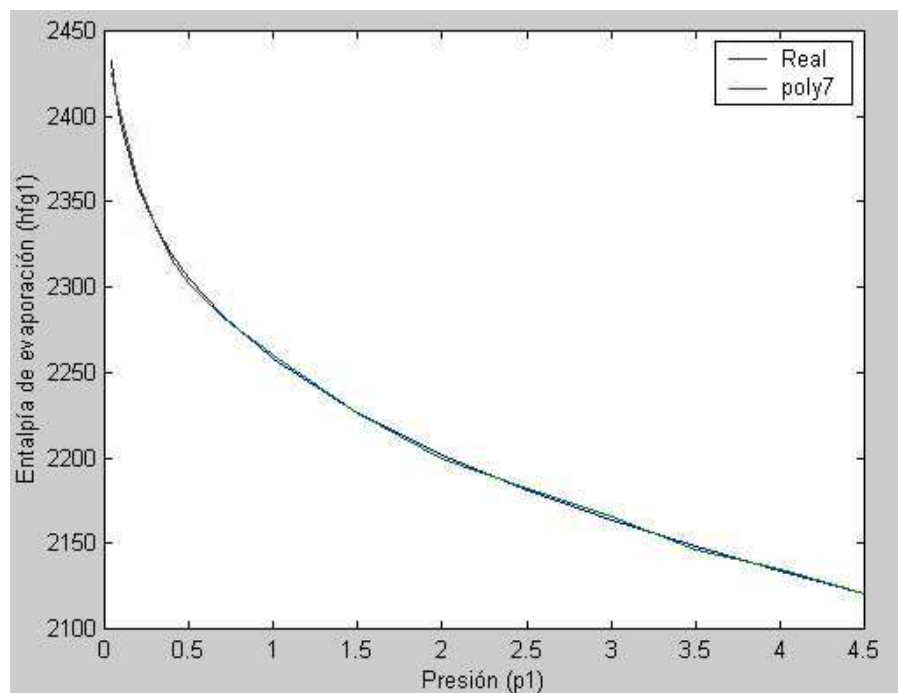


Figura 3.15. Curvas Real y poly7 para hfg1.

Por lo tanto el polinomio a utilizar es el de grado siete que es el que se utilizará para calcular la entalpía de evaporación (hfg1) de los primeros veinte datos que es:

$$hfg1 = -1.0129p^7 + 17.089p^6 - 116.286p^5 + 409.697p^4 - 800.5495p^3 + 874.8244p^2 - 570.1p + 2446.8$$

De la tablas de vapor de agua obtenemos los treinta datos faltantes de la presión (p2) y la entalpía de evaporación (hfg2).

p2=[5 6 7 8 9 10 15 20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 220.9]

hfg2=[2108.5 2086.3 2066.3 2048 2031.1 2015.3 1947.3 1890.7 1841 1795.7 1753.7 1714.1 1676.4 1640.1 1571 1505.1 1441.3 1378.9 1317.1 1255.5 1193.6 1130.7 1066.5 1000 930.6 856.9 777.1 688 583.4 0]

En la figura 3.16 se muestra la grafica real de los treinta últimos datos de presión (p2) y entalpía de evaporación (hfg2).

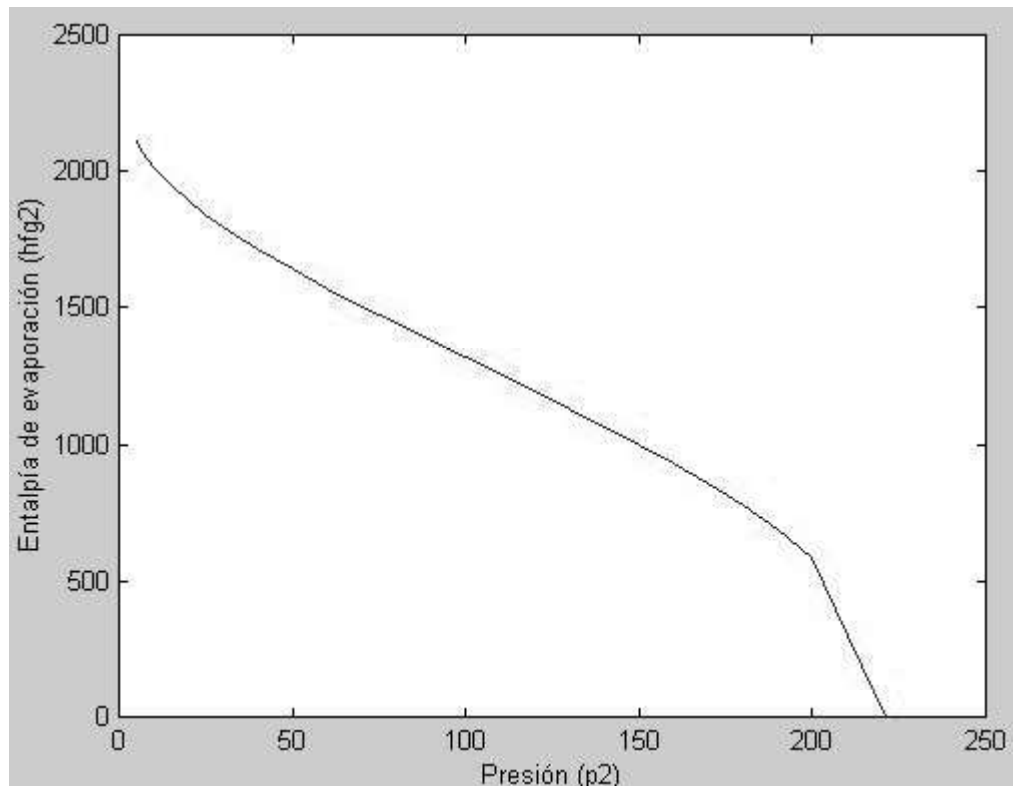


Figura 3.16 Gráfica de los datos p2-hfg2

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden cuatro.

Para el polinomio de 4º grado

poly4=polyfit(p2,hfg2,4)

$$hfg2 = -1.7293 \cdot 10^{-6} p^4 + 4.0345 \cdot 10^{-4} p^3 + 0.0013 p^2 - 10.742 p + 2129.2$$

Para el polinomio de 5º grado

poly5=polyfit(p2,hfg2,5)

$$hfg2 = -4.0549 \cdot 10^{-8} p^5 + 2.0708 \cdot 10^{-5} p^4 - 0.004 p^3 + 0.3558 p^2 - 21.3864 p + 2201.9$$

Para el polinomio de grado 6º

poly6=polyfit(p2,hfg2,6)

$$hfg2 = -2.126 \cdot 10^{-10} p^6 + 1.0118 \cdot 10^{-7} p^5 - 1.4982 \cdot 10^{-5} p^4 + 2.3461 \cdot 10^{-4} p^3 + 0.124 p^2 - 16.2534 p + 2173.1$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

$$ajuste4 = poly4(1) \cdot p2.^4 + poly4(2) \cdot p2.^3 + poly4(3) \cdot p2.^2 + poly4(4) \cdot p2 + poly4(5);$$

$$ajuste5 = poly5(1) \cdot p2.^5 + poly5(2) \cdot p2.^4 + poly5(3) \cdot p2.^3 + poly5(4) \cdot p2.^2 + poly5(5) \cdot p2 + poly5(6);$$

$$ajuste6 = poly6(1) \cdot p2.^6 + poly6(2) \cdot p2.^5 + poly6(3) \cdot p2.^4 + poly6(4) \cdot p2.^3 + poly6(5) \cdot p2.^2 + poly6(6) \cdot p2 + poly6(7);$$

En la figura 3.17 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así, identificar la curva mas semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

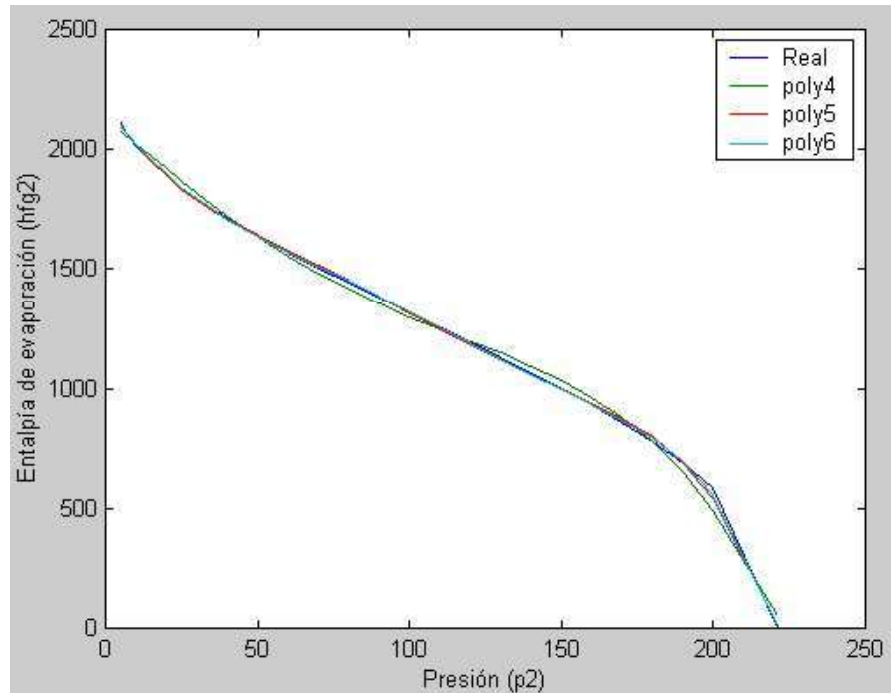


Figura 3.17 Gráficas Real y de polinomios

Como se observa en la figura las curvas de los polinomios poly5 y poly6 son muy similares pero si varían en el punto $p_2(200)$ y eso puede afectar, por lo tanto se utilizará el polinomio de grado seis (poly6). La figura 3.18 muestra la curva real y la de polinomio de sexto grado (poly6) para una mejor visualización.

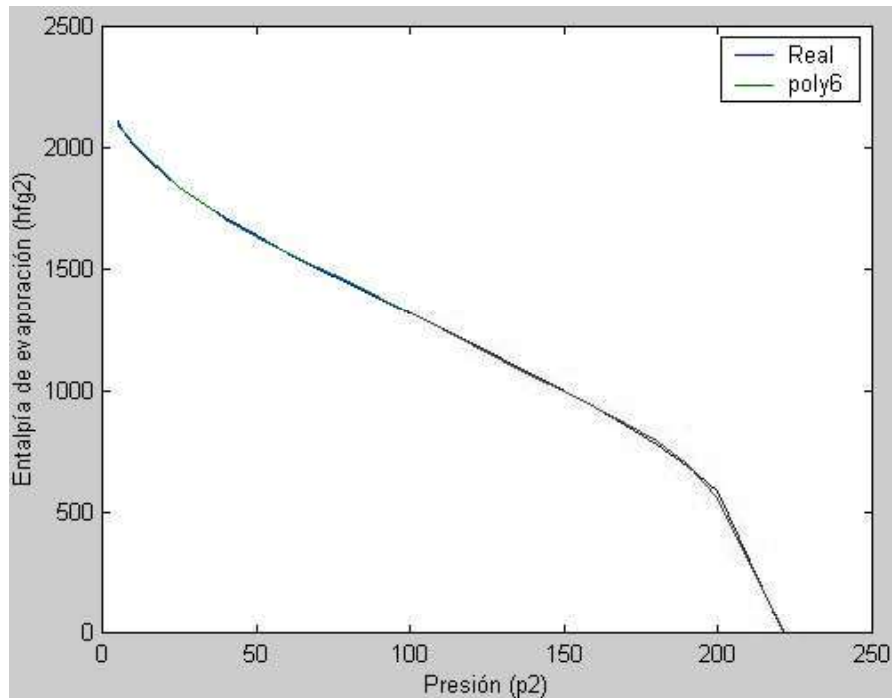


Figura 3.18. Curvas Real y poly6 para hfg2.

Por lo tanto el polinomio que se utilizará para el cálculo de los treinta últimos datos de la entalpía de evaporación es el polinomio de grado seis que es:

$$hfg2 = -2.126 \cdot 10^{-10} p^6 + 1.0118 \cdot 10^{-7} p^5 - 1.4982 \cdot 10^{-5} p^4 + 2.3461 \cdot 10^{-4} p^3 + 0.124 p^2 - 16.2534 p + 2173.1$$

d) POLINOMIOS PARA ENTROPIA DE LÍQUIDO SATURADO

De las tablas de vapor de agua obtenemos los primeros veinte datos de la presión (p1) y entropía de líquido saturado (sf1).

$$p1 = [.04 .06 .08 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5]$$

$$sf1 = [0.4226 0.5210 0.5926 0.6493 0.8320 0.9439 1.0259 1.0910 1.1453 1.1919 1.2329 1.2695 1.3026 1.4336 1.5301 1.6072 1.6718 1.7275 1.7766 1.8207]$$

En la figura 3.19 se muestra la gráfica de los valores reales de la presión(p1) y entropía de líquido saturado (sf1)

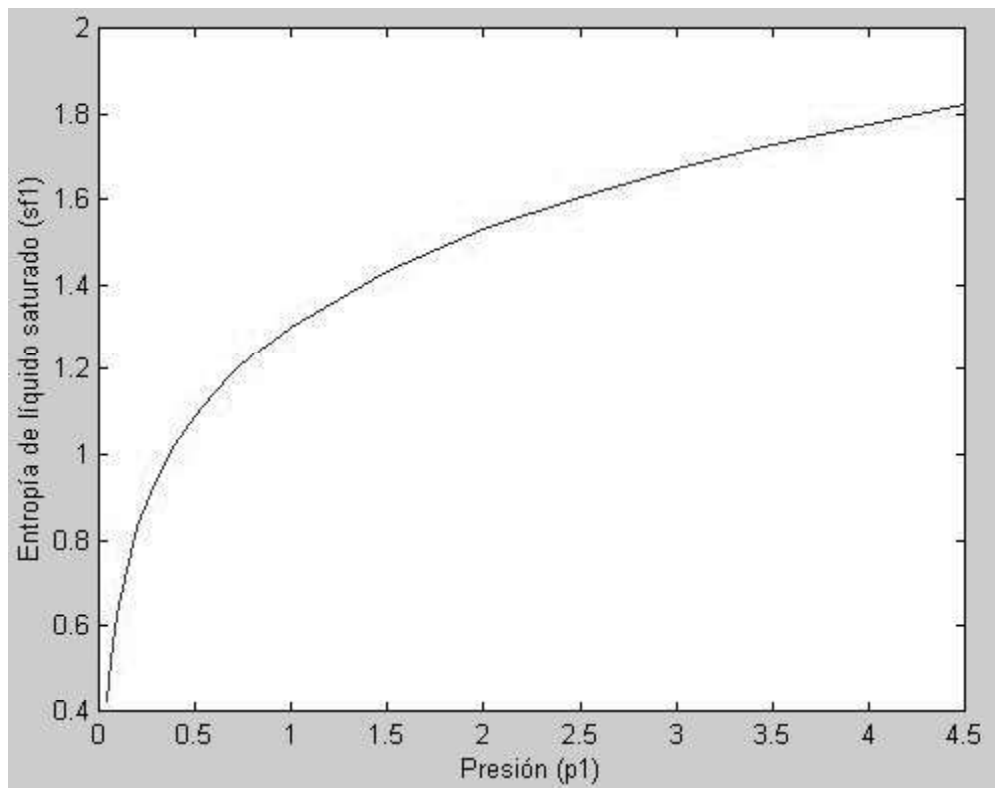


Figura 3.19. Gráfica de los datos p1-sf1

Obteniendo los polinomios en matlab con la función polyfit empezando en cuarto orden visto que en tercer orden está muy alejado de los valores reales.

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(p1,sf1,4)
```

```
sf1= -0.0236p4+0.2517p3-0.9422p2+1.5899p+0.4721
```

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(p1,sf1,5)
```

```
sf1= 0.0143p5- 0.1813p4+0.8539p3- 1.8663p2+2.0745p+0.425
```

Para el polinomio de 6º grado

```
poly6=polyfit(p1,sf1,6)
```

```
sf1= -0.0093p6 +0.138p5 -0.7935p4+2.2457p3 -3.2977p2 +2.6265p+0.3830
```

Obteniendo los ajustes para la obtención del polinomio adecuado por el método de los Mínimos cuadrados.

```
ajuste4=poly4(1)*p1.^4+poly4(2)*p1.^3+poly4(3)*p1.^2+poly4(4)*p1+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*p1.^5+poly5(2)*p1.^4+poly5(3)*p1.^3+poly5(4)*p1.^2+poly5(5)*p1  
+poly5(6);
```

```
ajuste6=poly6(1)*p1.^6+poly6(2)*p1.^5+poly6(3)*p1.^4+poly6(4)*p1.^3  
+poly6(5)*p1.^2+poly6(6)*p1+poly6(7);
```

En la figura 3.20 se muestran las gráficas real, y las de los polinomios de aproximación para notar la aproximación que se asemeje más a la curva real y así seleccionar el polinomio.

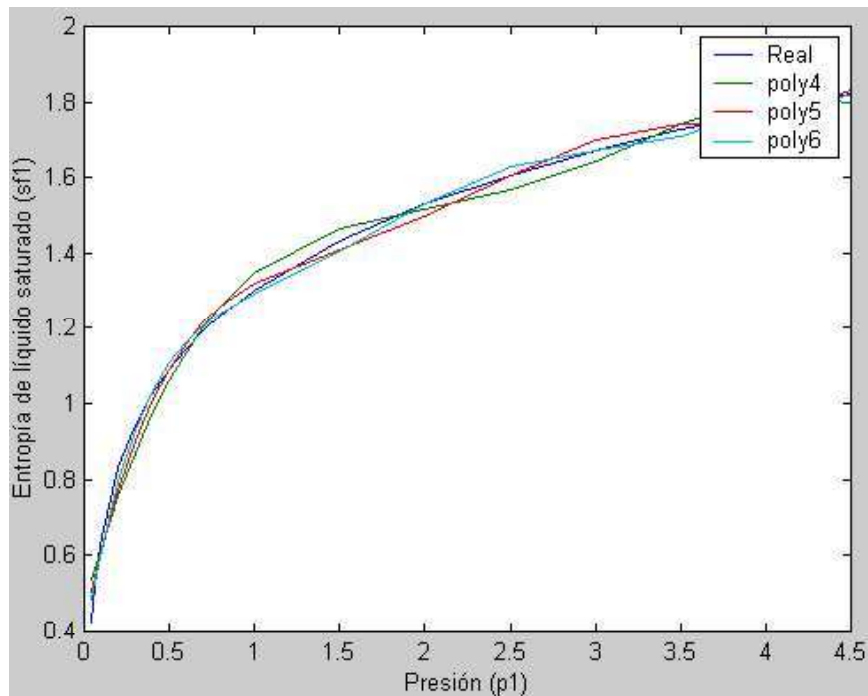


Figura 3.20 Gráficas Real y Ajustes

Como se observa en la figura la curva del polinomio `poly6` es la más semejante a la real, por lo tanto se utilizará el polinomio de grado seis (`poly6`). La figura 3.18 muestra la curva real y la de polinomio de sexto grado (`poly6`) para una mejor visualización.

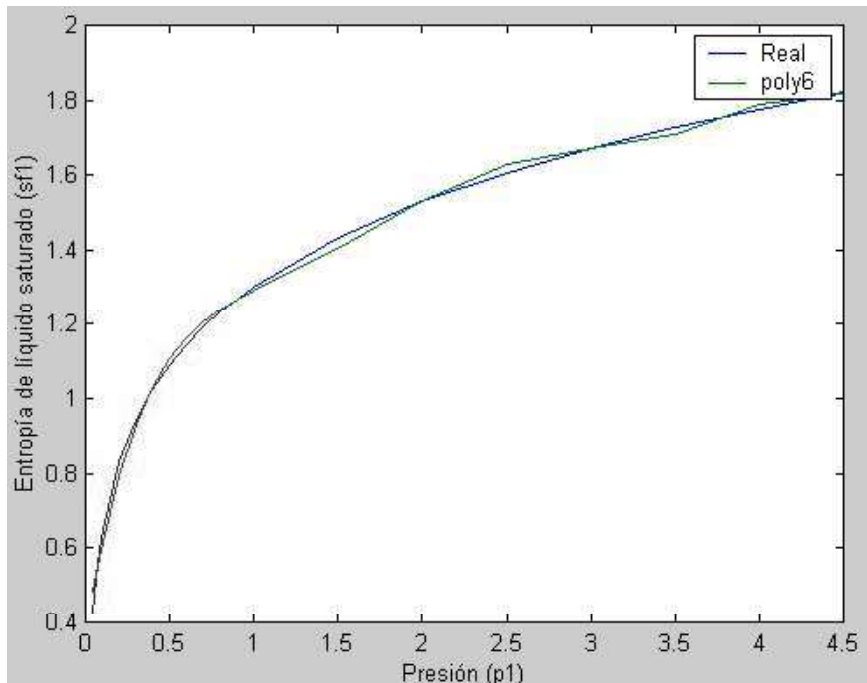


Figura 3.21 Gráficas Real y `poly6` para `sf1`

Por lo tanto el polinomio a utilizar es el de grado seis que es el que se utilizará para calcular la entropía de líquido saturado (sf1) de los primeros veinte datos que es:

$$sf1 = -0.0093p^6 + 0.138p^5 - 0.7935p^4 + 2.2457p^3 - 3.2977p^2 + 2.6265p + 0.3830$$

Para obtener el polinomio para los últimos treinta datos de las tablas de vapor consideramos los datos de la presión (p2) y entropía de líquido saturado (sf2).

p2=[5 6 7 8 9 10 15 20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 220.9]

sf2=[1.8607 1.9312 1.9922 2.0462 2.0946 2.1387 2.315 2.4474 2.5547 2.6457 2.7253 2.7964 2.861 2.9202 3.0267 3.1211 3.2068 3.2858 3.3596 3.4295 3.4962 3.5606 3.6232 3.6848 3.7461 3.8079 3.8715 3.9388 4.0139 4.4298]

En la figura 3.22 muestra la gráfica de los datos reales de la presión (p2) y la entropía de líquido saturado (sf2) .

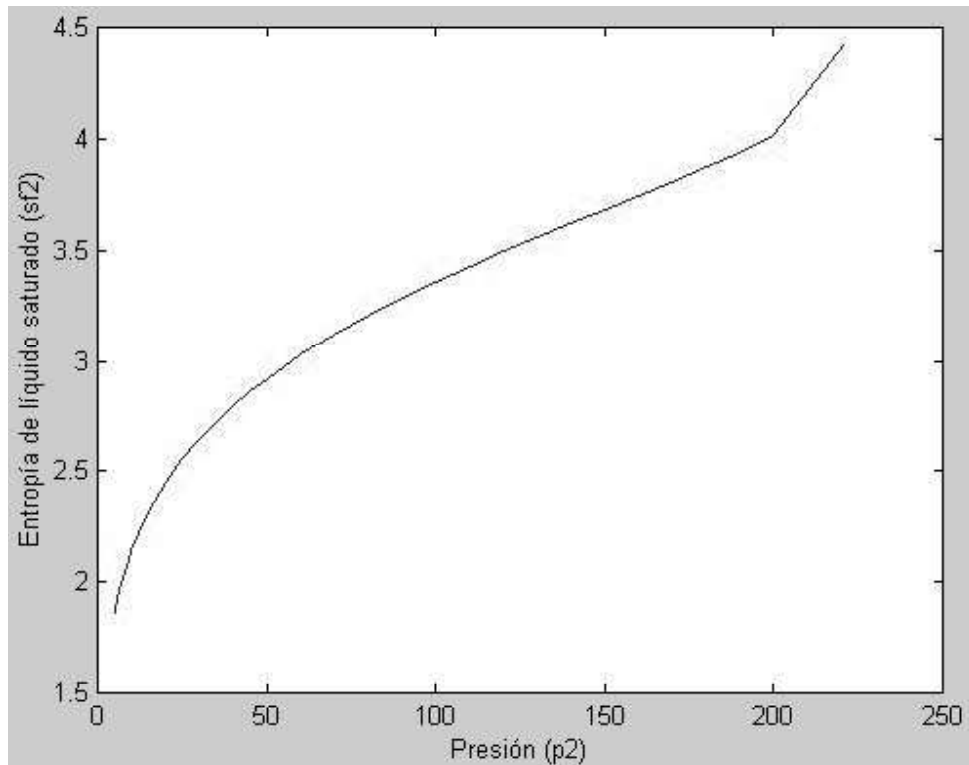


Figura 3.22. Gráfica de los datos p2-sf2

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden cuatro.

Para el polinomio de 4º grado

poly4=polyfit(p2,sf2,4)

$$sf2 = -1.7329 \cdot 10^{-9} p^4 + 1.3075 \cdot 10^{-6} p^3 - 3.1421 \cdot 10^{-4} p^2 + 0.036 p + 1.7782$$

Para el polinomio de 5º grado

poly5=polyfit(p2,sf2,5)

$$sf2 = 6.0309 \cdot 10^{-11} p^5 - 3.1504 \cdot 10^{-8} p^4 + 7.8142 \cdot 10^{-6} p^3 - 8.4144 \cdot 10^{-4} p^2 + 0.0518 p + 1.67$$

Para el polinomio de grado 6º

poly6=polyfit(p2,sf2,6)

$$sf2 = -2.1048 \cdot 10^{-13} p^6 + 2.0063 \cdot 10^{-10} p^5 - 7.043 \cdot 10^{-8} p^4 + 1.1978 \cdot 10^{-5} p^3 - 0.0011 p^2 - 0.0569 p + 1.6415$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

ajuste4=poly4(1)*p2.^4+poly4(2)*p2.^3+poly4(3)*p2.^2+poly4(4)*p2+poly4(5);

ajuste5=poly5(1)*p2.^5+poly5(2)*p2.^4+poly5(3)*p2.^3+poly5(4)*p2.^2+poly5(5)*p2+poly5(6);

ajuste6=poly6(1)*p2.^6+poly6(2)*p2.^5+poly6(3)*p2.^4+poly6(4)*p2.^3+poly6(5)*p2.^2+poly6(6)*p2+poly6(7);

En la figura 3.23 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

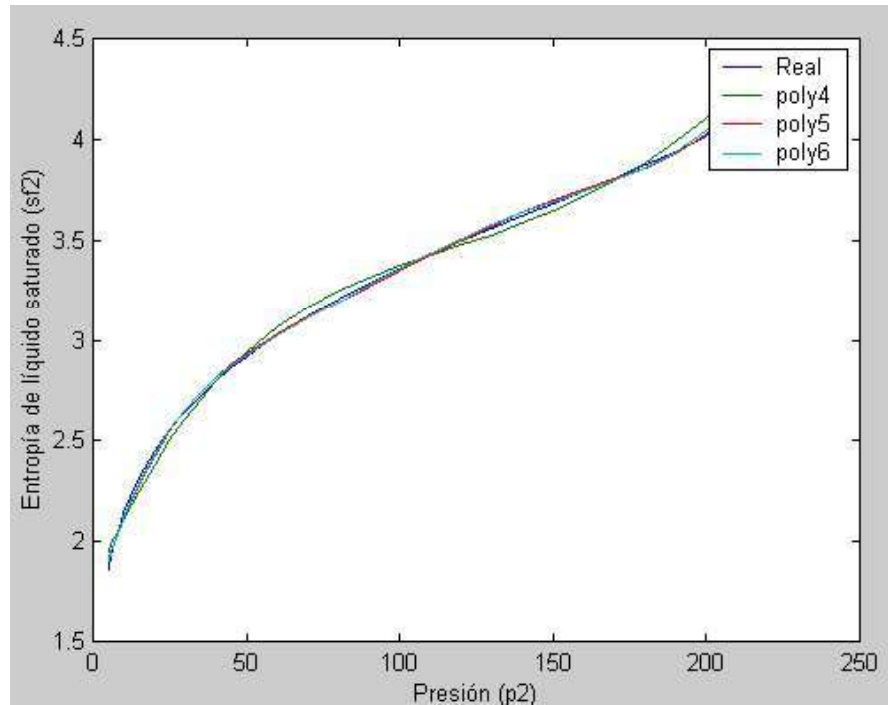


Figura 3.23 Gráficas Real y polinomios

Como se observa en la gráfica las curvas $poly_5$ y $poly_6$ son prácticamente iguales por lo que se utilizará el polinomio de menor grado para mayor simplicidad que es el polinomio de grado cinco ($poly_5$). En la figura 3.24 se muestra la gráfica con la curva $poly_5$.

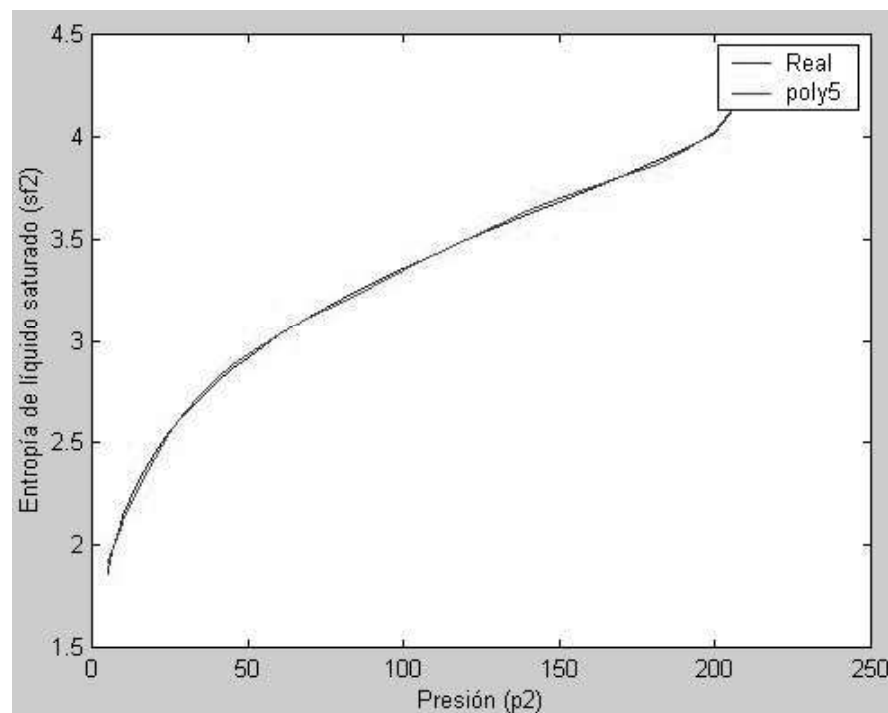


Figura 3.24. Gráficas Real y $poly_5$ para sf_2

Por lo tanto el polinomio que se utilizará para el cálculo de la entropía de líquido saturado es el polinomio de grado cinco que es:

$$sf2 = 6.0309 \cdot 10^{-11} p^5 - 3.1504 \cdot 10^{-8} p^4 + 7.8142 \cdot 10^{-6} p^3 - 8.4144 \cdot 10^{-4} p^2 + 0.0518 p + 1.67$$

e) POLINOMIOS PARA DETERMINAR LA ENTROPÍA DE VAPOR SATURADO

Para obtener el polinomio de los primeros veinte datos obtenemos de las tablas de vapor la presión (p1) y la entropía de vapor saturado (sg1).

$$p1 = [.04 .06 .08 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5]$$

$$sg1 = [8.4746 \ 8.3304 \ 8.2287 \ 8.1502 \ 7.9085 \ 7.7686 \ 7.67 \ 7.5939 \ 7.5320 \ 7.4797 \ 7.4346 \ 7.3949 \ 7.3594 \ 7.2233 \ 7.1271 \ 7.0527 \ 6.9919 \ 6.9405 \ 6.8959 \ 6.8565]$$

En la figura 3.25 muestra la gráfica de los datos reales de la presión (p1) y la entropía de vapor saturado (sf1).

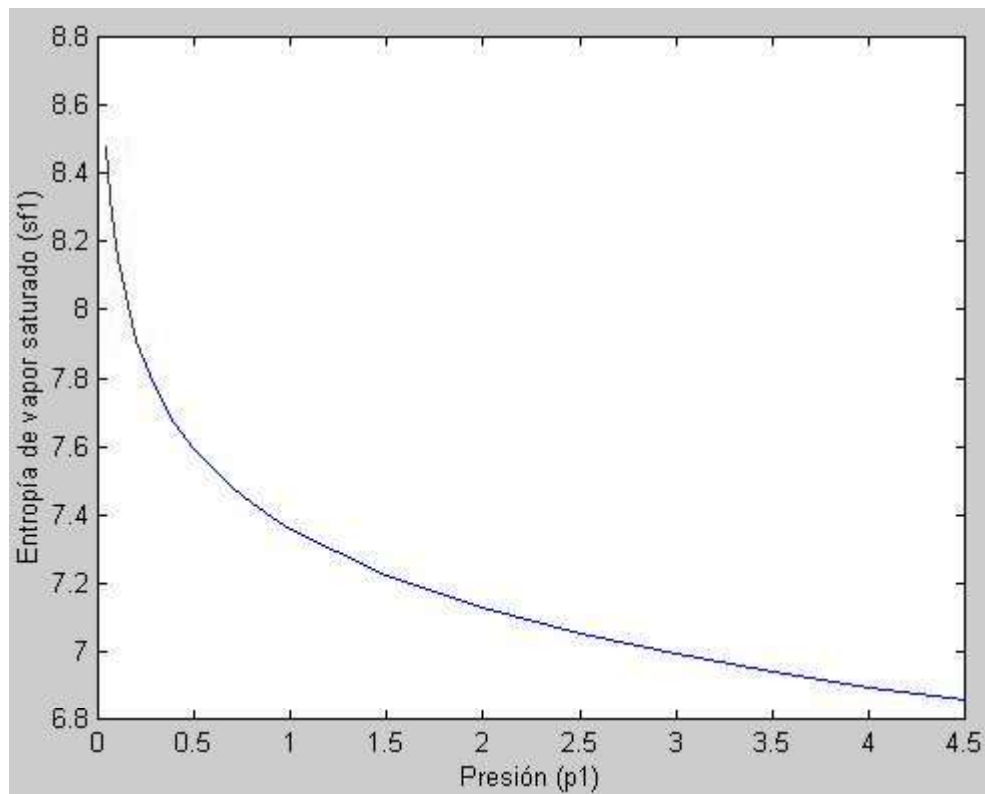


Figura 3.25 Gráfica de datos p1-hg1

Obteniendo los polinomios en matlab con la función polyfit empezando en cuarto orden visto que en tercer orden está muy alejado de los valores reales.

Para el polinomio de 4º grado

poly4=polyfit(p1,sg1,4)

sg1= 0.0329p⁴ -0.3487p³ +1.2872p² - 2.0643p+8.3873

Para el polinomio de 5º grado

poly5=polyfit(p1,sg1,5)

sg1= -0.0205p⁵ + 0.2595p⁴ - 1.214p³ +2.6148p² -2.7605p+8.455

Para el polinomio de 6º grado

poly6=polyfit(p1,sg1,6)

sg1= 0.0137p⁶ -0.2024p⁵ +1.1594p⁴ -3.2597p³ +4.7188p² -3.5719p+8.5167

Para el polinomio de 7º grado

Poly7=polyfit(p1,sg1,7)

sg1= -0.009p⁷ +0.1518p⁶ -1.0283p⁵ +3.5966p⁴ -6.9414p³ +7.387p² -4.3394p+8.5643

Obteniendo los ajustes para la obtención del polinomio adecuado por el método de los Mínimos cuadrados.

ajuste4=poly4(1)*p1.^4+poly4(2)*p1.^3+poly4(3)*p1.^2+poly4(4)*p1+poly4(5);

ajuste5=poly5(1)*p1.^5+poly5(2)*p1.^4+poly5(3)*p1.^3+poly5(4)*p1.^2+poly5(5)*p1
+poly5(6);

ajuste6=poly6(1)*p1.^6+poly6(2)*p1.^5+poly6(3)*p1.^4+poly6(4)*p1.^3
+poly6(5)*p1.^2+poly6(6)*p1+poly6(7);

ajuste7=poly7(1)*p1.^7+poly7(2)*p1.^6+poly7(3)*p1.^5+poly7(4)*p1.^4
+poly7(5)*p1.^3+poly7(6)*p1.^2+poly7(7)*p1+poly7(8);

En la figura 3.26 se muestran las gráficas real, y las de los polinomios de aproximación para notar la aproximación que se asemeje más a la curva real y así seleccionar el polinomio.

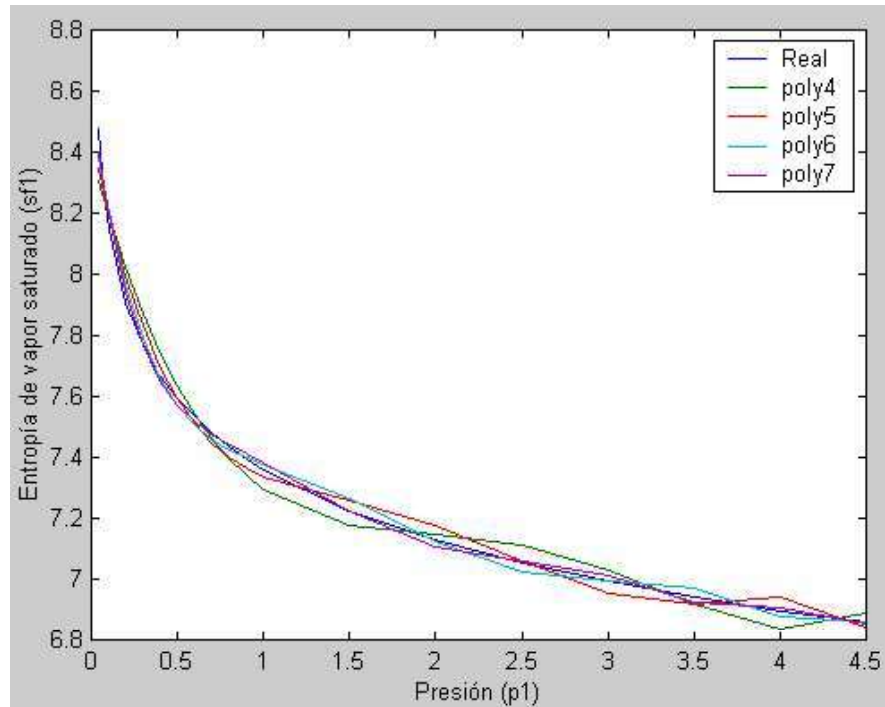


Figura 3.25. Gráficas real y de ajustes de polinomios

En la figura 3.25 se observa que la curva poly7 es la que se asemeja más a la curva de los datos reales, por lo tanto será el polinomio a seleccionar (poly7). La figura 3.26 muestra un la gráfica de las curvas real y poly7 para una mejor visualización.

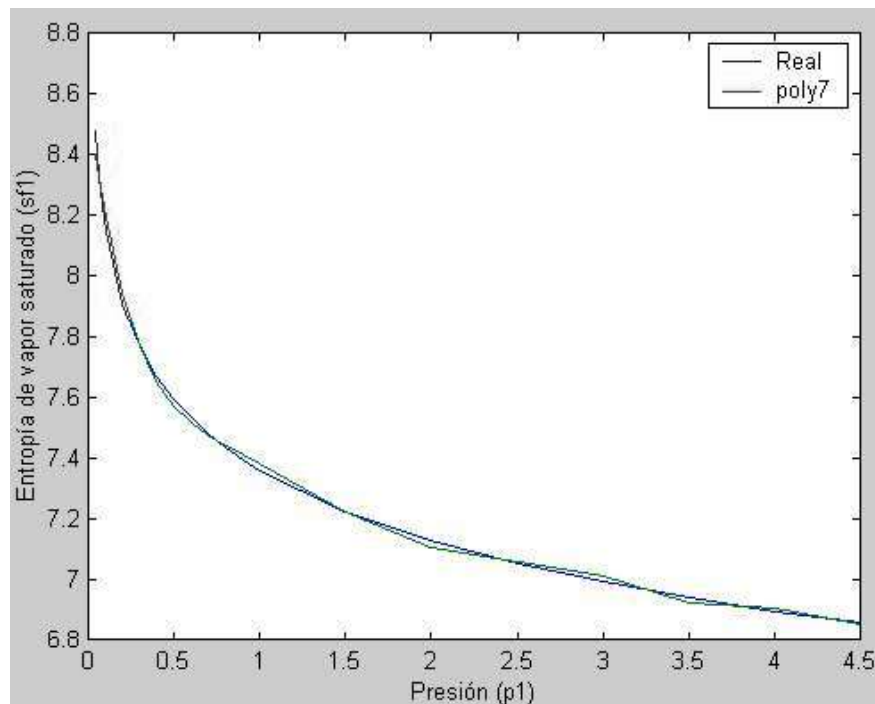


Figura 3.26. Gráficas Real y poly7 para sf1

Por lo tanto el polinomio que se utilizará para calcular la entropía de vapor saturado (sg1) es:

$$sg1 = -0.009p^7 + 0.1518p^6 - 1.0283p^5 + 3.5966p^4 - 6.9414p^3 + 7.387p^2 - 4.3394p + 8.5643$$

Para obtener el polinomio de los treinta últimos datos de las tablas de vapor para la entropía de vapor saturado (sg2) y presión (p2).

p2=[5 6 7 8 9 10 15 20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 220.9]

sg2=[6.8212 6.76 6.7080 6.6628 6.6226 6.5863 6.4448 6.3409 6.2575 6.1869 6.1253 6.0701 6.0199 5.9734 5.8892 5.8133 5.7432 5.6772 5.6141 5.5527 5.4924 5.4323 5.3717 5.3098 5.2455 5.1777 5.1044 5.0228 4.9269 4.4298]

En la figura 3.27 se muestra la gráfica de los datos reales de la presión (p2) y la entropía de vapor saturado (sg2).

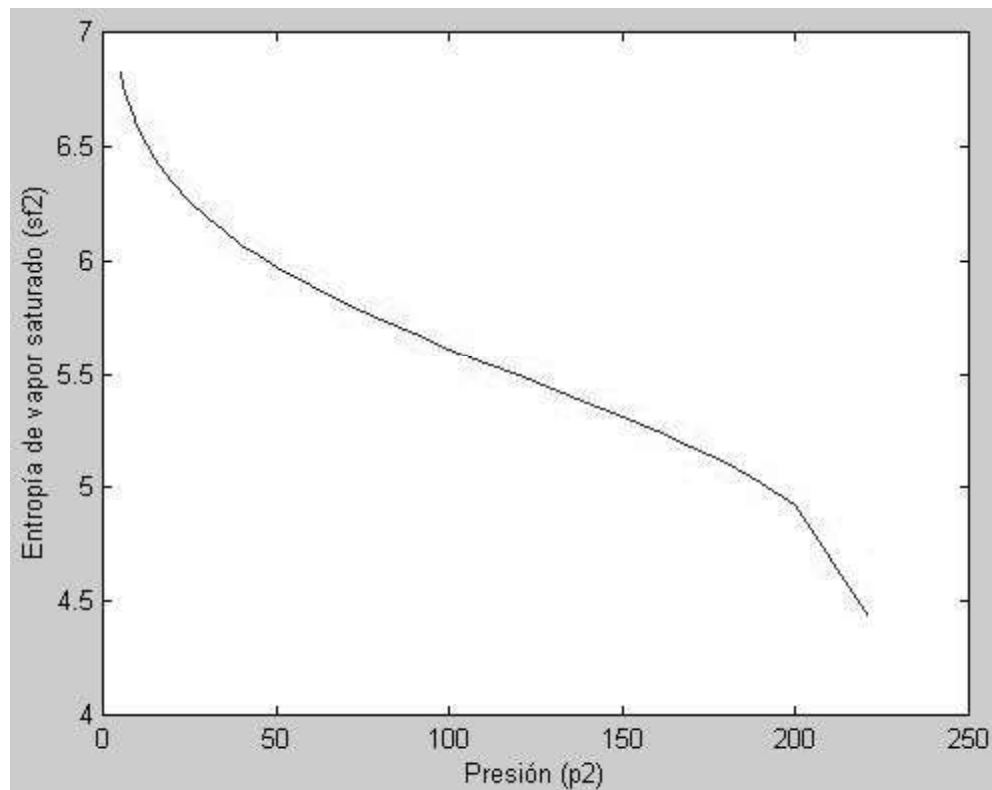


Figura 3.27. Gráfica de datos p2-sg2

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden cuatro.

Para el polinomio de 4º grado

poly4=polyfit(p2,sg2,4)

$$sg2 = 7.7949 \cdot 10^{-10} p^4 - 8.623 \cdot 10^{-6} p^3 + 2.2958 \cdot 10^{-4} p^2 + 0.0278 p + 6.8707$$

Para el polinomio de 5º grado

poly5=polyfit(p2,sg2,5)

$$sg2 = -5.7616 \cdot 10^{-11} p^5 + 3.266 \cdot 10^{-8} p^4 - 7.0784 \cdot 10^{-6} p^3 + 7.3326 \cdot 10^{-4} p^2 - 0.0429 p + 6.9741$$

Para el polinomio de grado 6º

poly6=polyfit(p2,sg2,6)

$$sg2 = 1.418 \cdot 10^{-13} p^6 - 1.5215 \cdot 10^{-10} p^5 + 5.646 \cdot 10^{-8} p^4 - 9.8837 \cdot 10^{-6} p^3 + 8.8784 \cdot 10^{-4} p^2 - 0.0464 p + 6.9933$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

ajuste4=poly4(1)*p2.^4+poly4(2)*p2.^3+poly4(3)*p2.^2+poly4(4)*p2+poly4(5);

ajuste5=poly5(1)*p2.^5+poly5(2)*p2.^4+poly5(3)*p2.^3+poly5(4)*p2.^2+poly5(5)*p2+poly5(6);

ajuste6=poly6(1)*p2.^6+poly6(2)*p2.^5+poly6(3)*p2.^4+poly6(4)*p2.^3+poly6(5)*p2.^2+poly6(6)*p2+poly6(7);

En la figura 3.28 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

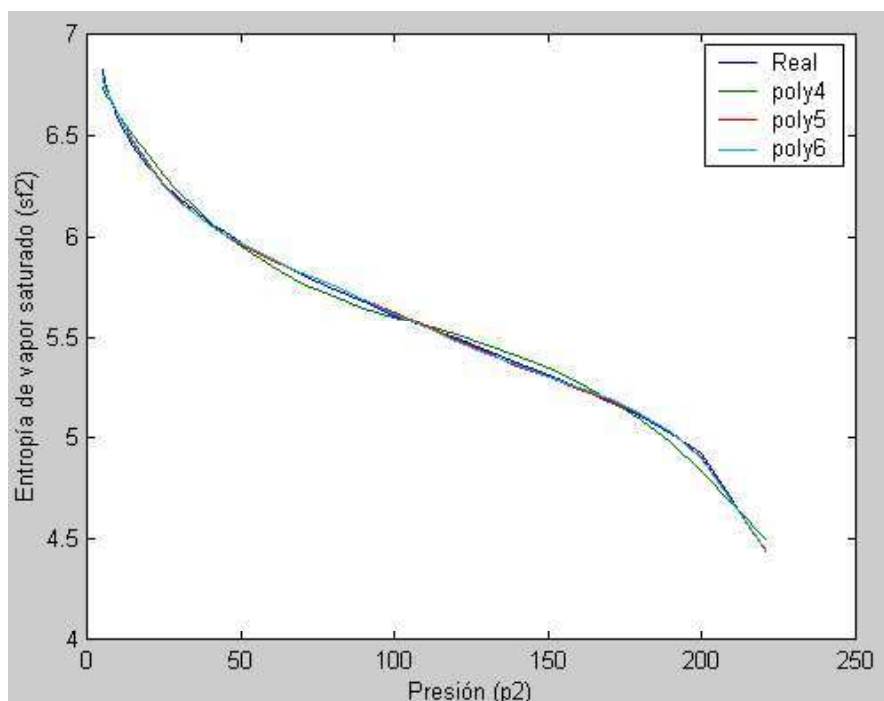


Figura 3.28. Gráficas Real y ajustes de polinomios.

Como se observa en la gráfica las curvas poly5 y poly6 son prácticamente iguales por lo que se utilizará el polinomio de menor grado para mayor simplicidad que es el polinomio de grado cinco (poly5). En la figura 3.29 se muestra la gráfica real con la curva poly5.

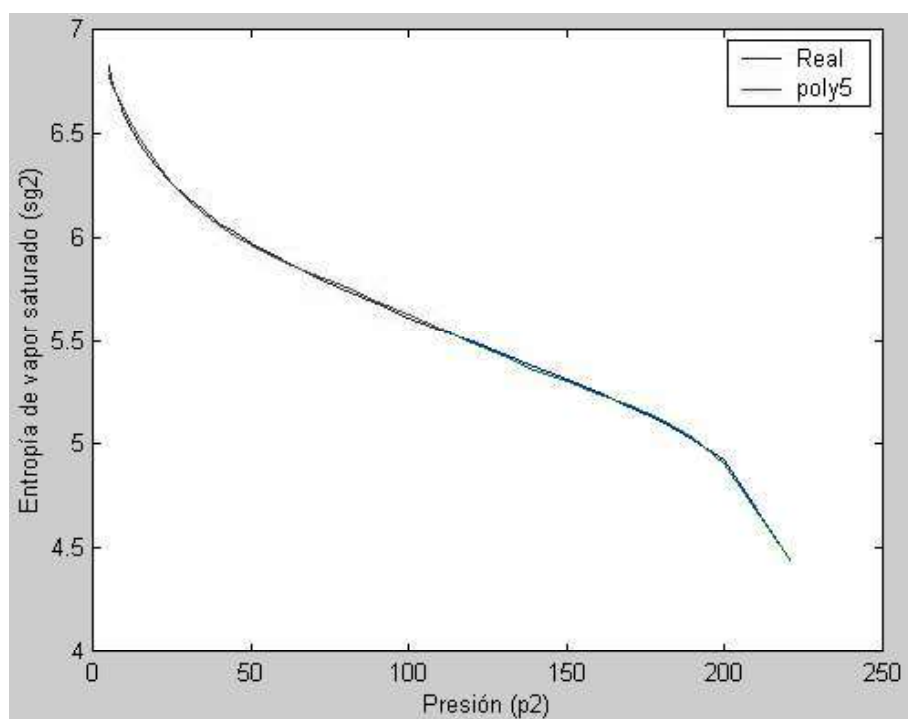


Figura 3.29. Gráfica de curvas Real y poly5 para sg_2

Por lo tanto el polinomio que se utilizará para calcular la entropía de vapor saturado (sg1) es:

$$sg2 = -5.7616 \cdot 10^{-11} p^5 + 3.266 \cdot 10^{-8} p^4 - 7.0784 \cdot 10^{-6} p^3 + 7.3326 \cdot 10^{-4} p^2 - 0.0429 p + 6.9741$$

f) POLINOMIOS PARA DETERMINAR LA ENTROPÍA DE EVAPORACIÓN

Para obtener la entropía de evaporación de las tablas de vapor de agua se obtienen los datos de la presión (p1), de la entropía de líquido saturado (sf1) y de la entropía de vapor saturado (sg1), estas últimas dos se restan $sg1 - sf1$ para obtener la entropía de evaporación (sfg1).

$$p1 = [.04 .06 .08 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5]$$

$$sfg1 = [8.0520 \ 7.8094 \ 7.636 \ 6.5029 \ 6.3867 \ 6.2878 \ 6.2017 \ 6.1254 \ 6.0568 \ 5.78971 \\ 7.5009 \ 7.0765 \ 6.8247 \ 6.6441 \ 5.5970 \ 5.4455 \ 5.3201 \ 5.2130 \ 5.1193 \ 5.0358]$$

En la figura 3.30 muestra la gráfica de los primeros veinte datos reales de la presión (p1) y la entropía de evaporación (sfg1).

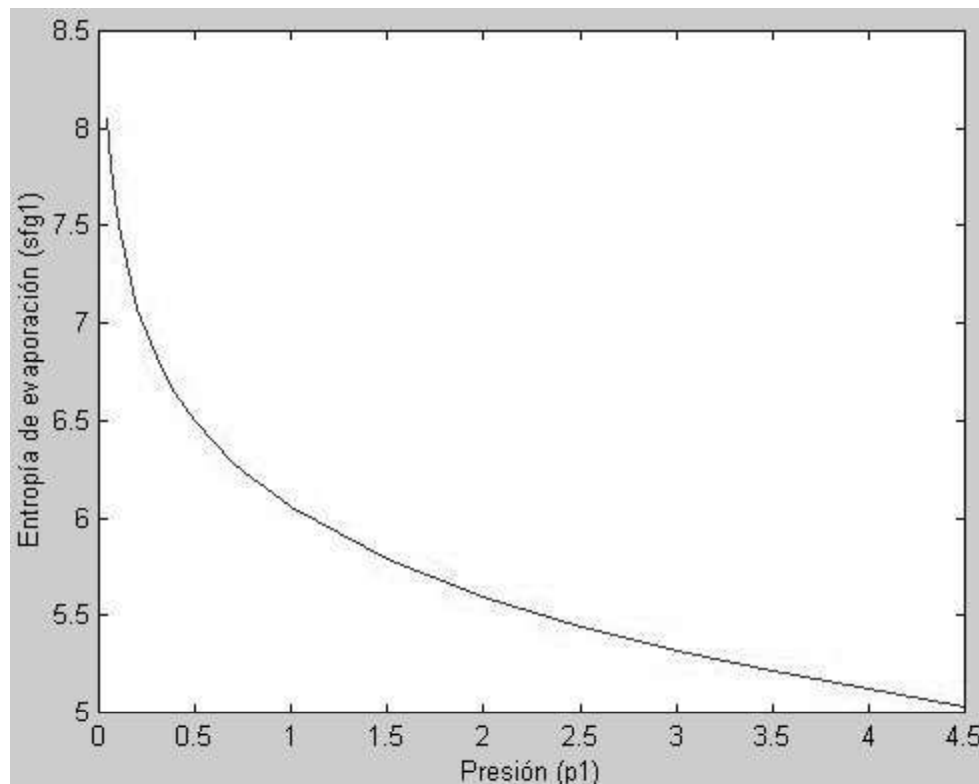


Figura 3.30. Gráfica de datos reales p1-sfg1

Obteniendo los polinomios en matlab con la función polyfit empezando en cuarto orden visto que en tercer orden está muy alejado de los valores reales.

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(p1,sfg1,4)
```

```
sfg1=0.0565p4-0.06004p3+2.2294p2-3.6542p+7.9151
```

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(p1,sfg1,5)
```

```
sfg1=-0.0348p5+0.4408p4-2.068p3+4.481p2-4.8351p+8.03
```

Para el polinomio de 6º grado

```
poly6=polyfit(p1,sfg1,6)
```

```
sfg1=0.023p6-0.3404p5+1.9529p4-5.5053p3+8.0165p2-6.1985p+8.1337
```

Para el polinomio de 7º grado

```
poly7=polyfit(p1,sfg1,7)
```

```
sfg1=-0.0151p7+0.2535p6-1.7186p5+6.0201p4-11.6491p3+12.4691p2-7.4792p+8.2131
```

Obteniendo los ajustes para la obtención del polinomio adecuado por el método de los Mínimos cuadrados.

```
ajuste4=poly4(1)*p1.^4+poly4(2)*p1.^3+poly4(3)*p1.^2+poly4(4)*p1+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*p1.^5+poly5(2)*p1.^4+poly5(3)*p1.^3+poly5(4)*p1.^2+poly5(5)*p1  
+poly5(6);
```

```
ajuste6=poly6(1)*p1.^6+poly6(2)*p1.^5+poly6(3)*p1.^4+poly6(4)*p1.^3  
+poly6(5)*p1.^2+poly6(6)*p1+poly6(7);
```

```
ajuste7=poly7(1)*p1.^7+poly7(2)*p1.^6+poly7(3)*p1.^5+poly7(4)*p1.^4  
+poly7(5)*p1.^3+poly7(6)*p1.^2+poly7(7)*p1+poly7(8);
```

En la figura 3.31 se muestran las gráficas real, y las de los polinomios de aproximación para notar la aproximación que se asemeje más a la curva real y así seleccionar el polinomio.

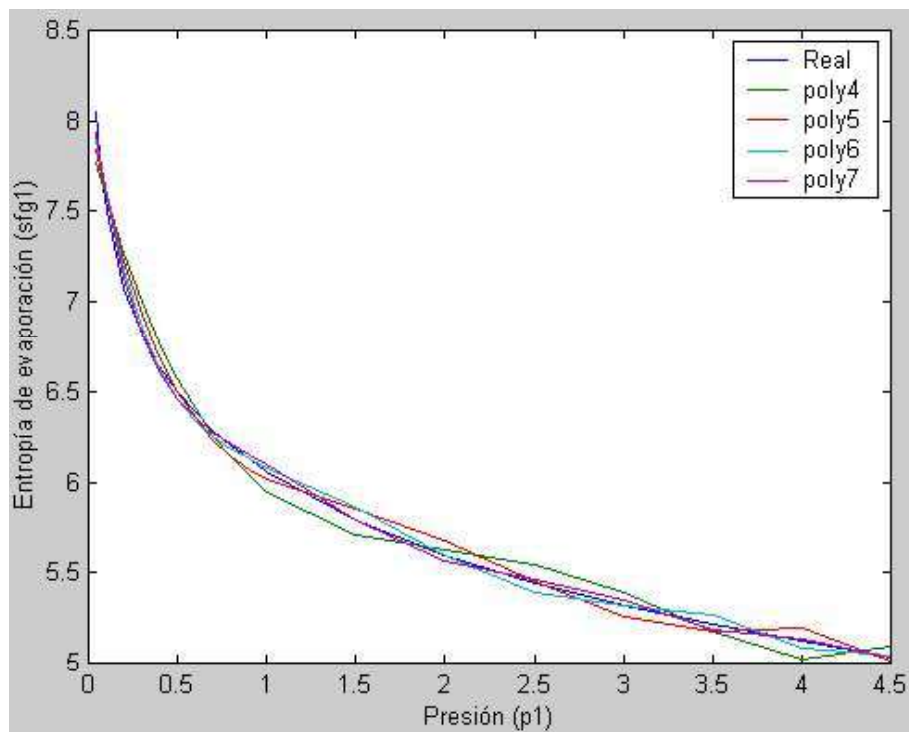


Figura 3.31 Gráficas Real y ajustes de polinomios

En la figura 3.31 se observa que la curva poly7 es la que se asemeja más a la curva de los datos reales, por lo tanto será el polinomio a seleccionar (poly7). La figura 3.32 muestra un la gráfica de las curvas real y poly7 para una mejor visualización.

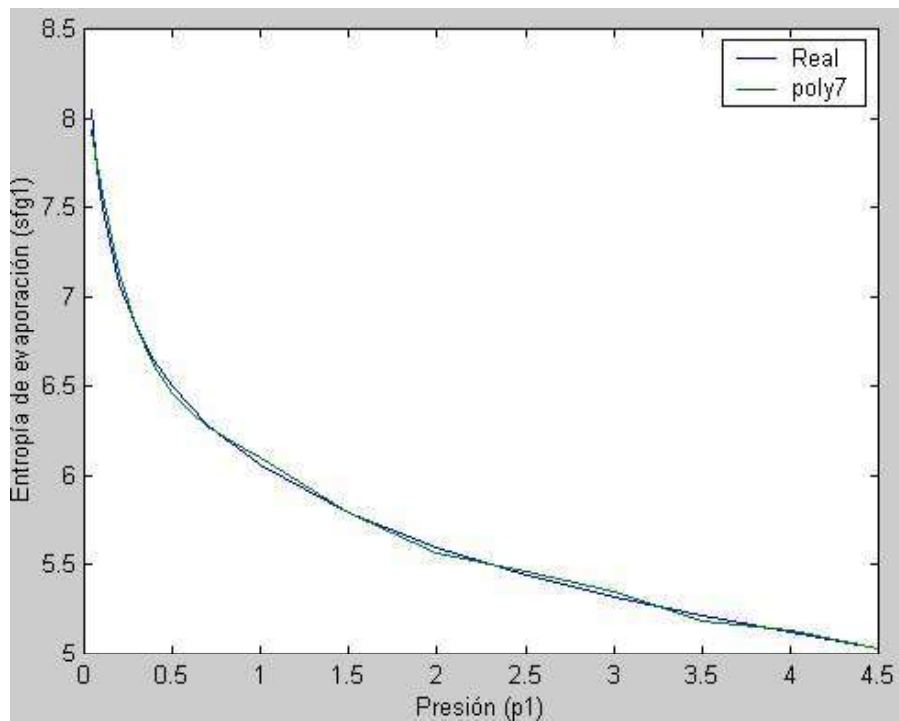


Figura 3.32 Gráfica de las curvas Real y poly7 para s_{fg1}

Por lo tanto el polinomio a seleccionar para calcular los primeros veinte datos de la entropía de evaporación (sfg1) es el de séptimo orden que es:

$$\text{sfg1} = -0.0151p^7 + 0.2535p^6 - 1.7186p^5 + 6.0201p^4 - 11.6491p^3 + 12.4691p^2 - 7.4792p + 8.2131$$

Para obtener el polinomio para la entropía de evaporación, de las tablas de vapor de agua se obtienen los últimos treinta datos de la presión (p2), de la entropía de líquido saturado (sf2) y de la entropía de vapor saturado (sg2), estas últimas dos se restan $sg2 - sf2$ para obtener la entropía de evaporación (sfg2).

$p2 = [5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30 \ 35 \ 40 \ 45 \ 50 \ 60 \ 70 \ 80 \ 90 \ 100 \ 110 \ 120 \ 130 \ 140 \ 150 \ 160 \ 170 \ 180 \ 190 \ 200 \ 220.9];$

$\text{sfg2} = [4.9605 \ 4.8288 \ 4.7158 \ 4.6166 \ 4.5280 \ 4.4476 \ 4.1298 \ 3.8935 \ 3.7028 \ 3.5412 \ 3.4000 \ 3.2737 \ 3.1589 \ 3.0532 \ 2.8625 \ 2.6922 \ 2.5364 \ 2.3914 \ 2.2545 \ 2.1232 \ 1.9962 \ 1.8717 \ 1.7485 \ 1.6250 \ 1.4994 \ 1.3698 \ 1.2329 \ 1.0840 \ 0.9130 \ 0];$

En la figura 3.33 se muestra la gráfica de los datos reales de la presión (p2), y la entropía de evaporación (sfg2).

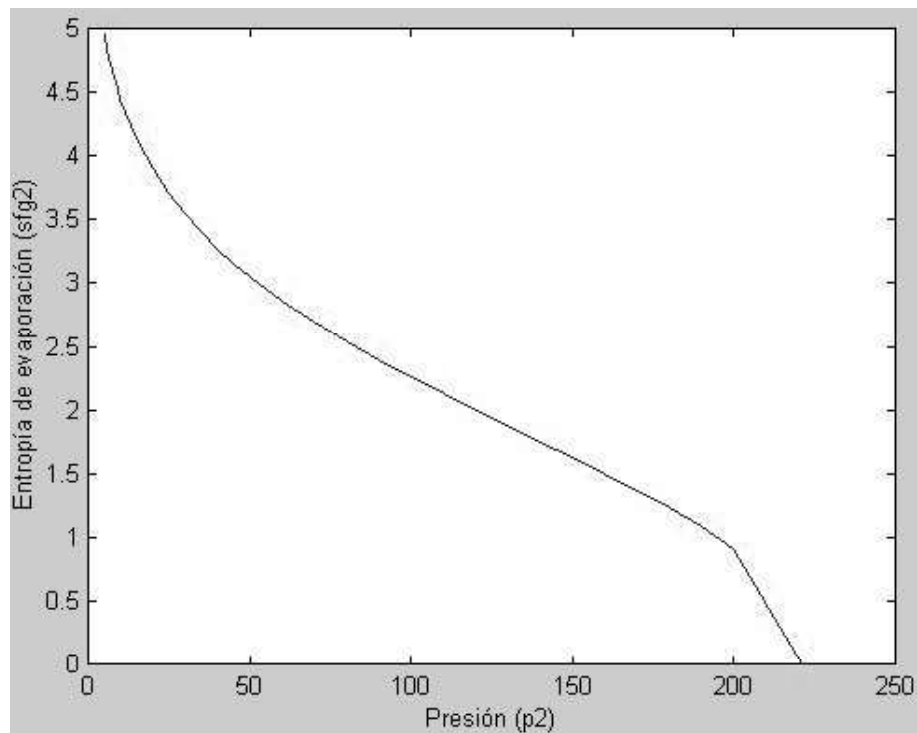


Figura 3.33. Gráfica de datos p2-sfg2

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden tres.

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(p2,sfg2,3)
```

```
sfg2=-1.0755-6p3+0.004p2-0.057p+5.0299
```

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(p2,sfg2,4)
```

```
sfg2= 2.5124-9p4-2.1698-6p3+5.9379-4p2-0.0638p+5.0925
```

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(p2,sfg2,5)
```

```
sfg2= -1.1792-10p5+6.7764-8p4-1.4893-5p3+0.0016p2-0.0948p+5.3041
```

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste3=poly3(1)*p2.^3+poly3(2)*p2.^2+poly3(3)*p2+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*p2.^4+poly4(2)*p2.^3+poly4(3)*p2.^2+poly4(4)*p2+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*p2.^5+poly5(2)*p2.^4+poly5(3)*p2.^3+poly5(4)*p2.^2+poly5(5)*p2+poly5(6);
```

En la figura 3.34 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva mas semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

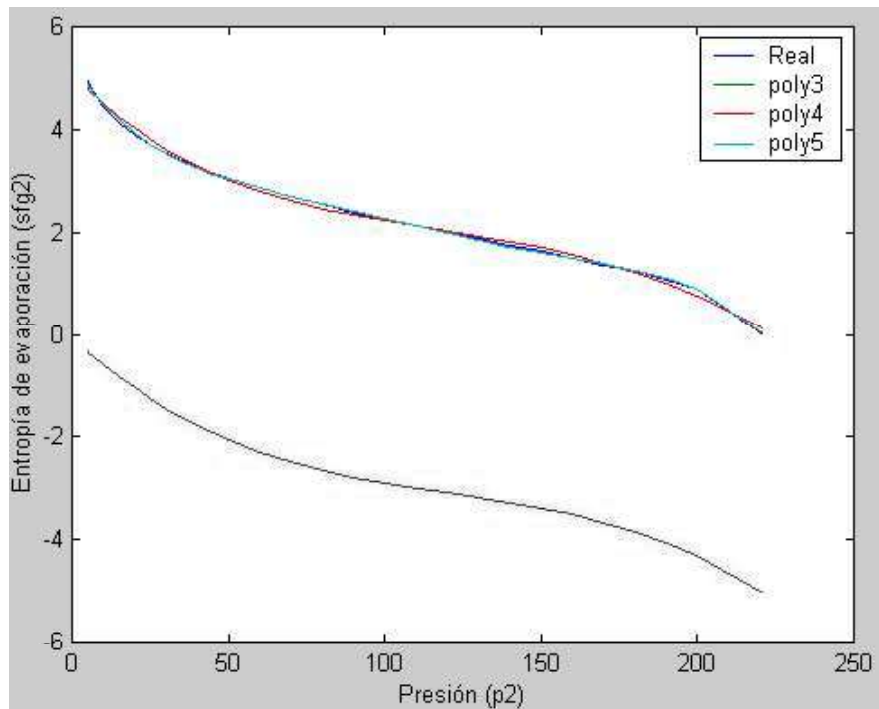


Figura 3.34. Gráficas Real y ajustes de polinomios.

En la figura se observa que la curva real con la que mayor aproximación tiene es con la curva del polinomio de quinto orden, por lo tanto será el polinomio a seleccionar (poly5). La figura 3.35 muestra un la gráfica de las curvas real y poly5 para una mejor visualización.

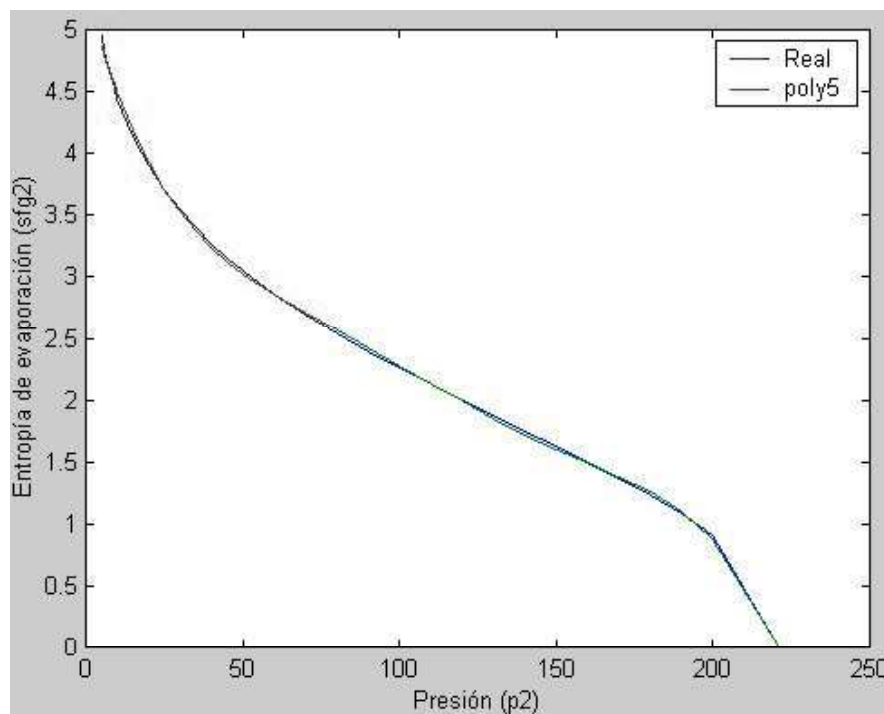


Figura 3.35 Gráficas de curvas Real y poly5 para sfg2.

Por lo tanto el polinomio a seleccionar para calcular los primeros veinte datos de la entropía de evaporación (sfg1) es el de séptimo orden que es:

$$\text{sfg2} = -1.1792 \cdot 10^{-10} p^5 + 6.7764 \cdot 10^{-8} p^4 - 1.4893 \cdot 10^{-5} p^3 + 0.0016 p^2 - 0.948 p + 5.3041$$

e) POLINOMIOS PARA ENCONTRAR LA ENTALPIA Y ENTROPIA DE VAPOR SOBRECANTADO PARA UNA PRESIÓN DE 20 BAR.

Para el polinomio para obtener las entalpías a una presión de veinte bar de la tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t20) y los datos de las entalpías (h20).

$$t20 = [100 \ 240 \ 280 \ 320 \ 360 \ 400 \ 440 \ 500 \ 540 \ 600 \ 640 \ 700]$$

$$h20 = [2799.5 \ 2876.5 \ 2976.4 \ 3069.5 \ 3159.3 \ 3247.6 \ 3335.5 \ 3467.6 \ 3556.1 \ 3690.1 \ 3780.4 \ 3917.4];$$

En la figura 3.36 muestra la gráfica de los datos reales de temperatura (t20) y entalpía(h20).

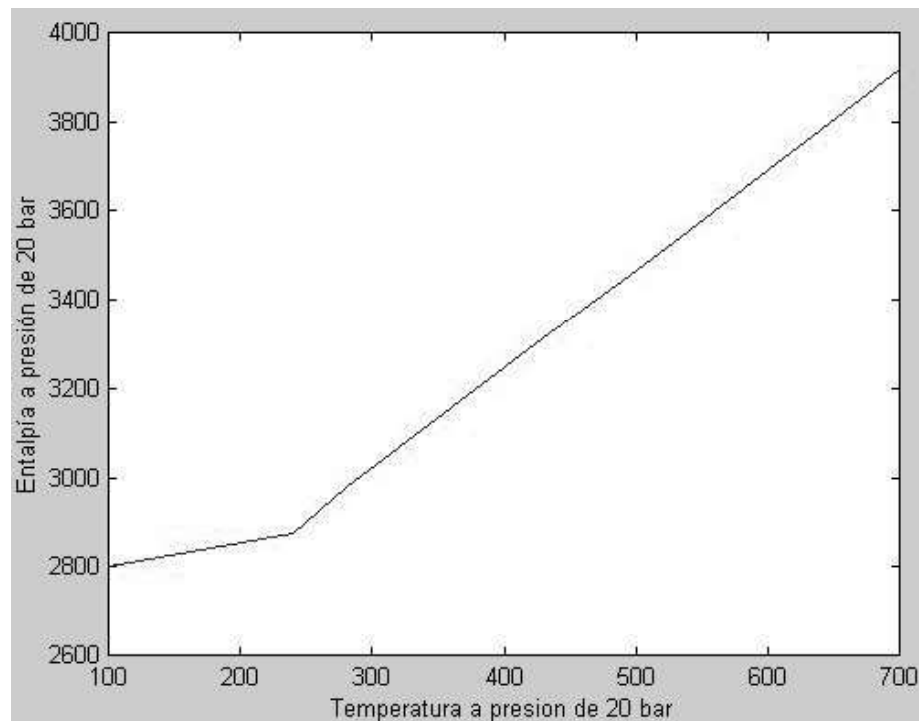


Figura 3.36 Gráfica de datos reales t20-h20

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden tres.

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t20,h20,3)
```

```
h20= -5.0502-6t3+0.0073t2- 1.1273t+2833.5
```

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t20,h20,4)
```

```
h20= 2.0296-8t4-3.7847-5t3+0.0253t2-4.9494t+3075.1
```

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(t20,h20,5)
```

```
h20= -7.5887-11t5+1.7718-7t4-1.5916-4t3+0.0684t2-11.7284t+3430.6
```

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste3=poly3(1)*t20.^3+poly3(2)*t20.^2+poly3(3)*t20+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t20.^4+poly4(2)*t20.^3+poly4(3)*t20.^2+poly4(4)*t20+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*t20.^5+poly5(2)*t20.^4+poly5(3)*t20.^3+poly5(4)*t20.^2+poly5(5)  
*t20+poly5(6);
```

En la figura 3.37 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

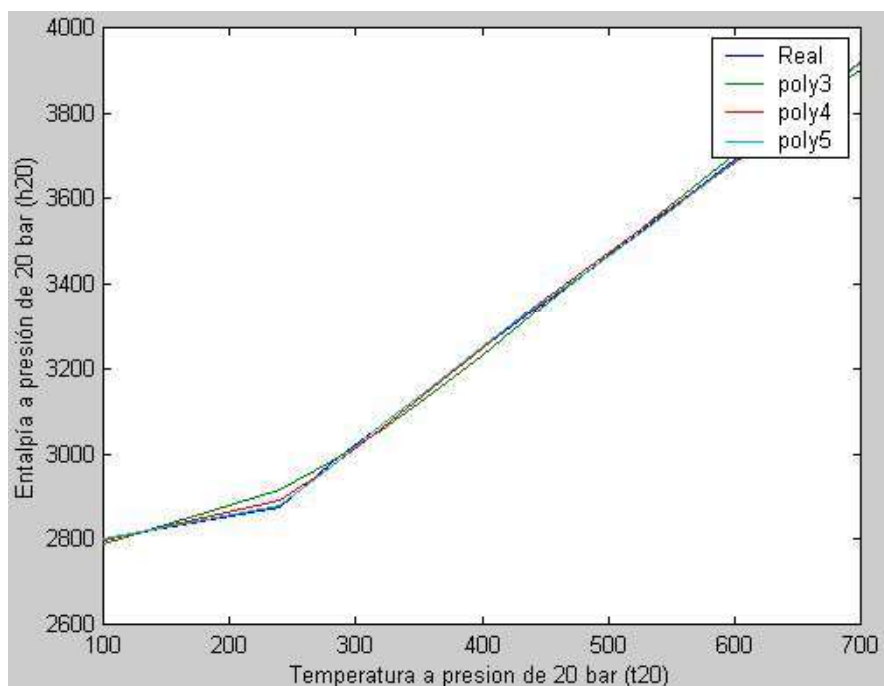


Figura 3.37. Gráfica de curvas Real y de polinomios para h20.

En la figura se observa que la curva real con la que mayor aproximación se tiene es con la curva del polinomio de quinto orden, por lo tanto será el polinomio a seleccionar (poly5). La figura 3.38 muestra un la gráfica de las curvas real y poly5 para una mejor visualización.

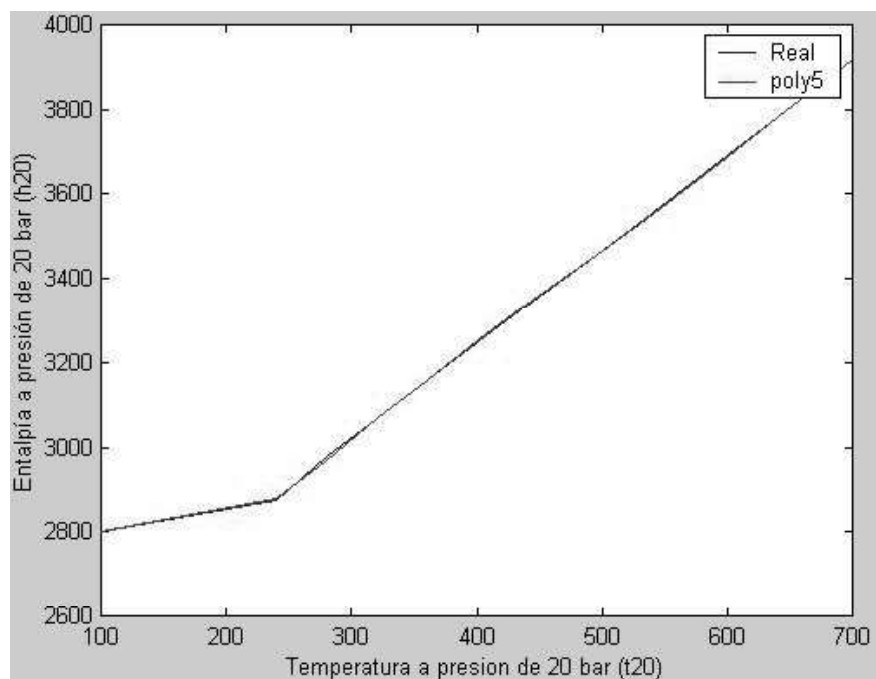


Figura 3.38. Gráfica de curvas Real y poly5 para h20

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entalpía de vapor sobrecalentado a una presión de 20 bar es:

$$h_{20} = -7.5887 \cdot 10^{-11} t^5 + 1.7718 \cdot 10^{-7} t^4 - 1.5916 \cdot 10^{-4} t^3 + 0.0684 t^2 - 11.7284 t + 3430.6$$

Para obtener el polinomio para la entropía de vapor sobrecalentado, de las tablas de vapor de agua se obtienen los datos a una presión de veinte bars de la temperatura (t_{20}) y de la entropía de vapor sobrecalentado (s_{20}).

$$t_{20} = [100 \ 240 \ 280 \ 320 \ 360 \ 400 \ 440 \ 500 \ 540 \ 600 \ 640 \ 700];$$

$$s_{20} = [6.3409 \ 6.4952 \ 6.6828 \ 6.8452 \ 6.9917 \ 7.1271 \ 7.254 \ 7.4317 \ 7.5434 \ 7.7024 \ 7.8035 \ 7.9487];$$

En la figura 3.39 se muestra la gráfica de los valores reales de la temperatura (t_{20}) y la entropía (s_{20}).

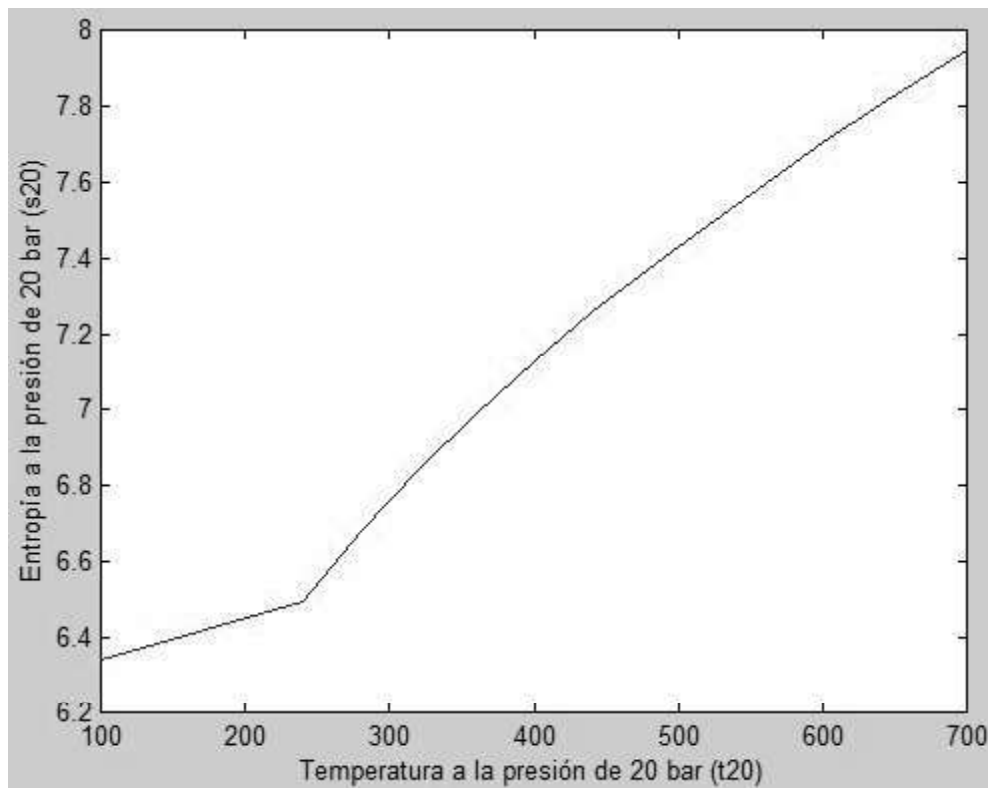


Figura 3.39. Gráfica de datos reales t_{20} - s_{20}

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden tres.

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t20,s20,3)
```

$$s20 = -9.385 \cdot 10^{-9} t^3 + 1.1535 \cdot 10^{-5} t^2 - 0.0012 t + 6.3339$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t20,s20,4)
```

$$s20 = 4.2657 \cdot 10^{-11} t^4 - 7.8316 \cdot 10^{-8} t^3 + 4.9406 \cdot 10^{-5} t^2 - 0.0092 t + 6.8417$$

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(t20,s20,5)
```

$$s20 = -1.6432 \cdot 10^{-13} t^5 + 3.8235 \cdot 10^{-10} t^4 - 3.4099 \cdot 10^{-7} t^3 + 1.4256 \cdot 10^{-4} t^2 - 0.0239 t + 7.6116$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

$$\text{ajuste3} = \text{poly3}(1) \cdot t20.^3 + \text{poly3}(2) \cdot t20.^2 + \text{poly3}(3) \cdot t20 + \text{poly3}(4);$$

$$\text{ajuste4} = \text{poly4}(1) \cdot t20.^4 + \text{poly4}(2) \cdot t20.^3 + \text{poly4}(3) \cdot t20.^2 + \text{poly4}(4) \cdot t20 + \text{poly4}(5);$$

$$\text{ajuste5} = \text{poly5}(1) \cdot t20.^5 + \text{poly5}(2) \cdot t20.^4 + \text{poly5}(3) \cdot t20.^3 + \text{poly5}(4) \cdot t20.^2 + \text{poly5}(5) \cdot t20 + \text{poly5}(6);$$

En la figura 3.40 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

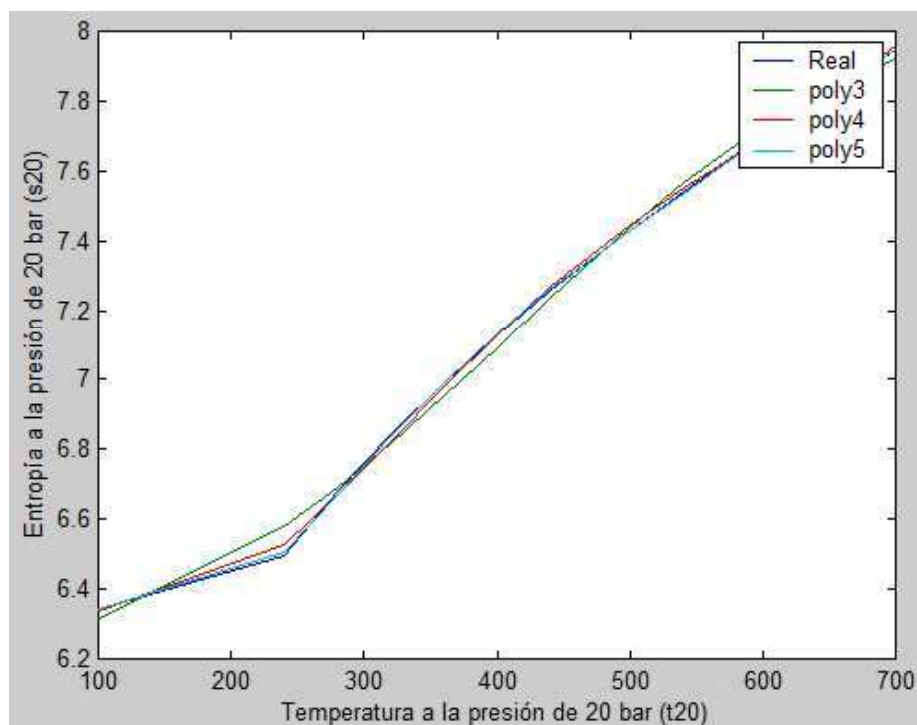


Figura 3.40. Gráfica de curvas Real y de polinomios para s20.

En la figura se observa que la curva real con la que mayor aproximación tiene es con la curva del polinomio de quinto orden, por lo tanto será el polinomio a seleccionar (poly5). La figura 3.41 muestra un la gráfica de las curvas real y poly5 para una mejor visualización.

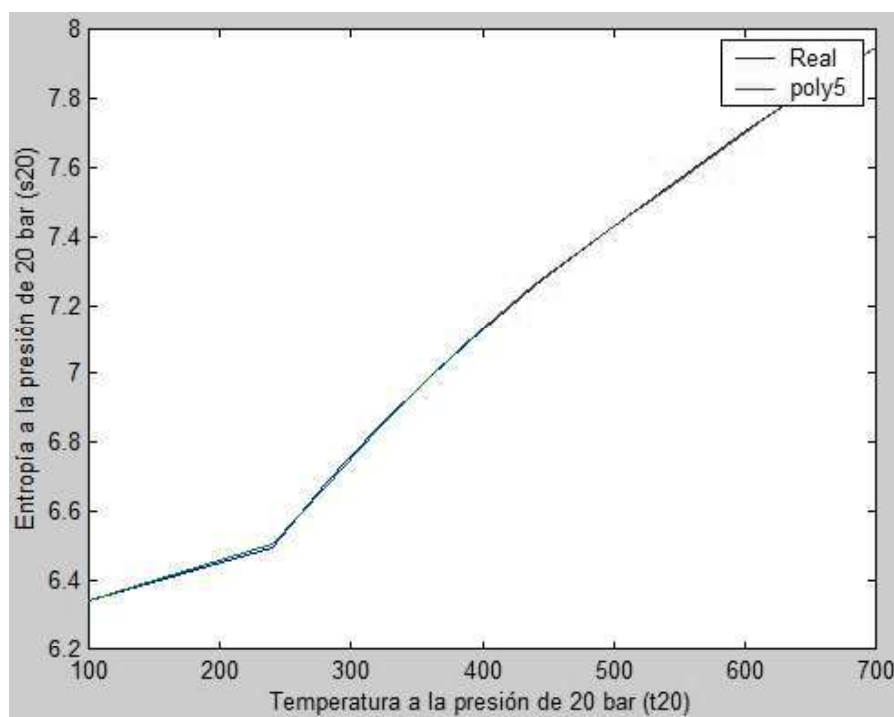


Figura 3.41. Graficas de curvas Real y poly5 para s20

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entropía de vapor sobrecalentado a una presión de 20 bar es:

$$s_{20} = -1.6432 \cdot 10^{-13} t^5 + 3.8235 \cdot 10^{-10} t^4 - 3.4099 \cdot 10^{-7} t^3 + 1.4256 \cdot 10^{-4} t^2 - 0.0239 t + 7.6116$$

f) POLINOMIOS PARA ENCONTRAR LA ENTALPIA Y ENTROPIA DE VAPOR SOBRECANTADO PARA UNA PRESIÓN DE 30 BAR

Para el polinomio para obtener las entalpías a una presión de treinta bar de las tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t30) y los datos de las entalpías (h30).

t30=[100 240 280 320 360 400 440 500 540 600 640 700];

h30=[2804.2 2824.3 2941.3 3043.4 3138.7 3230.9 3321.5 3456.5 3546.6 3682.3 3773.5 3911.7];

En la figura 3.42 muestra la gráfica de los datos reales de la temperatura (t30) y la entalpía (h30).

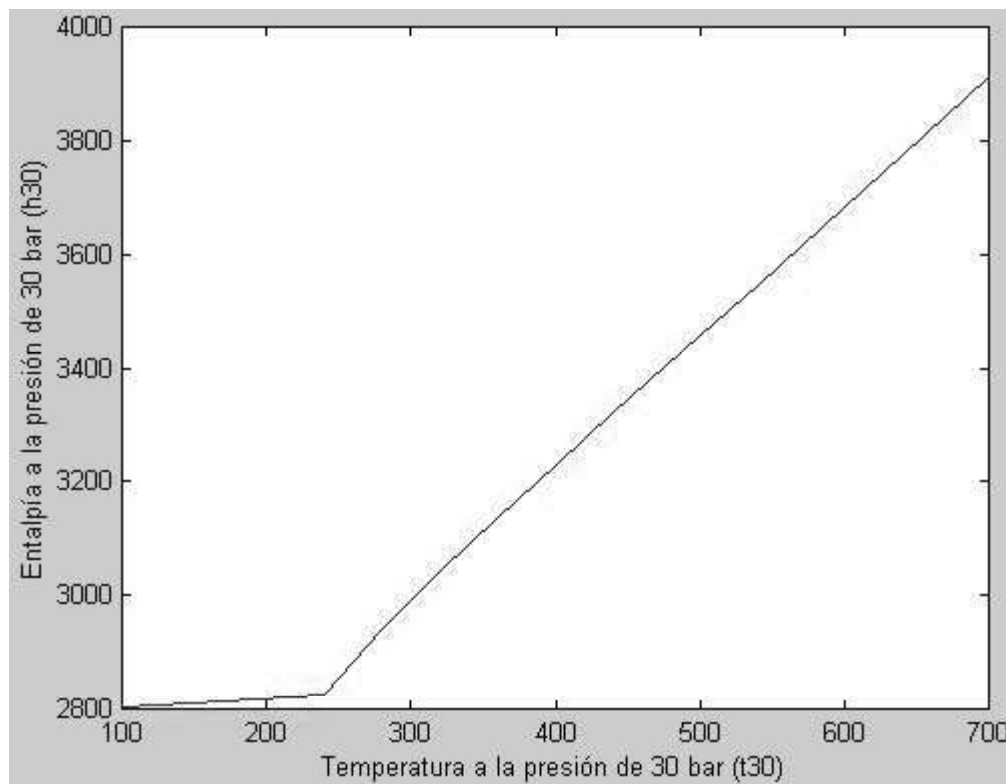


Figura 3.42. Gráfica de los datos reales t30-h30

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden tres.

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t30,h30,3)
```

```
h30= -6.808-6t3+0.0096t2- 1.9873t+2898.1
```

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t30,h30,4)
```

```
h30= 2.9205-8t4-5.4001-5t3+0.0356t2-7.4871t+3245.7
```

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(t30,h30,5)
```

```
h30= -1.1557-10t5+2.6812-7t4-2.3875-4t3+0.1011t2-17.8109t+3787.2
```

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste3=poly3(1)*t30.^3+poly3(2)*t30.^2+poly3(3)*t30+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t30.^4+poly4(2)*t30.^3+poly4(3)*t30.^2+poly4(4)*t30+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*t30.^5+poly5(2)*t30.^4+poly5(3)*t30.^3+poly5(4)*t30.^2+poly5(5)  
*t30+poly5(6);
```

En la figura 3.43 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

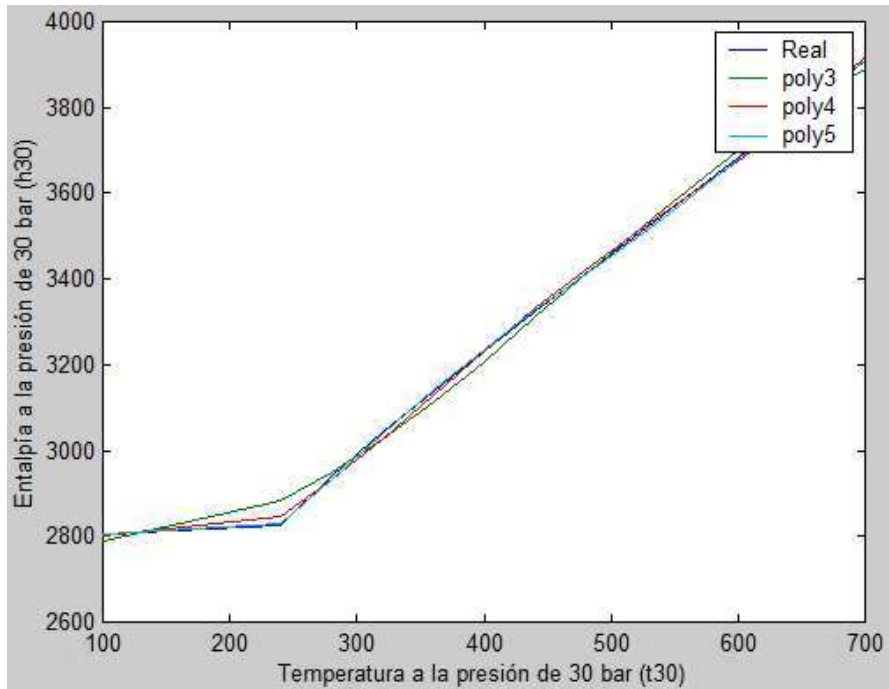


Figura 3.43. Gráfica de curvas real y polinomios para h30

En la figura se observa que la curva real con la que mayor aproximación tiene es con la curva del polinomio de quinto orden, por lo tanto será el polinomio a seleccionar (poly5). La figura 3.44 muestra un la gráfica de las curvas real y poly5 para una mejor visualización.

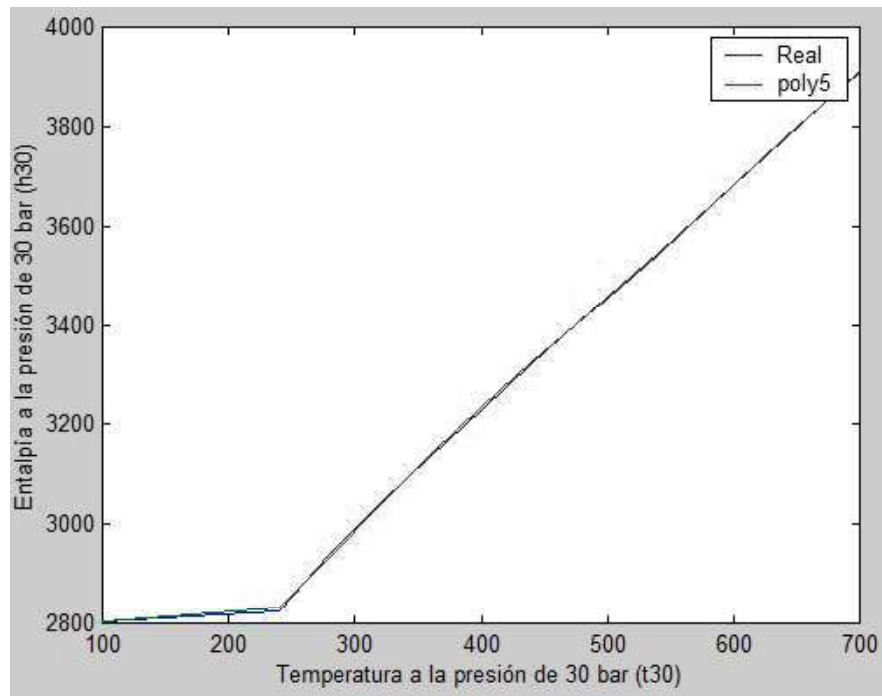


Figura 3.44. Gráficas de curvas Real y poly5 para h30

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entalpía de vapor sobrecalentado a una presión de 20 bar es:

$$h_{30} = -1.1557 \cdot 10^{-10} t^5 + 2.6812 \cdot 10^{-7} t^4 - 2.3875 \cdot 10^{-4} t^3 + 0.1011 t^2 - 17.8109 t + 3787.2$$

Para obtener el polinomio para la entropía de vapor sobrecalentado, de las tablas de vapor de agua se obtienen los datos a una presión de treinta bars de la temperatura (t_{30}) y de la entropía de vapor sobrecalentado (s_{30}).

$$t_{30} = [233.9 \ 240 \ 280 \ 320 \ 360 \ 400 \ 440 \ 500 \ 540 \ 600 \ 640 \ 700];$$

$$s_{30} = [6.1869 \ 6.2265 \ 6.4462 \ 6.6245 \ 6.7801 \ 6.9212 \ 7.0520 \ 7.2338 \ 7.3474 \ 7.5085 \ 7.6106 \ 7.7571];$$

En la figura 3.45 se muestra la gráfica de los valores reales de la temperatura (t_{20}) y la entropía (s_{20}).

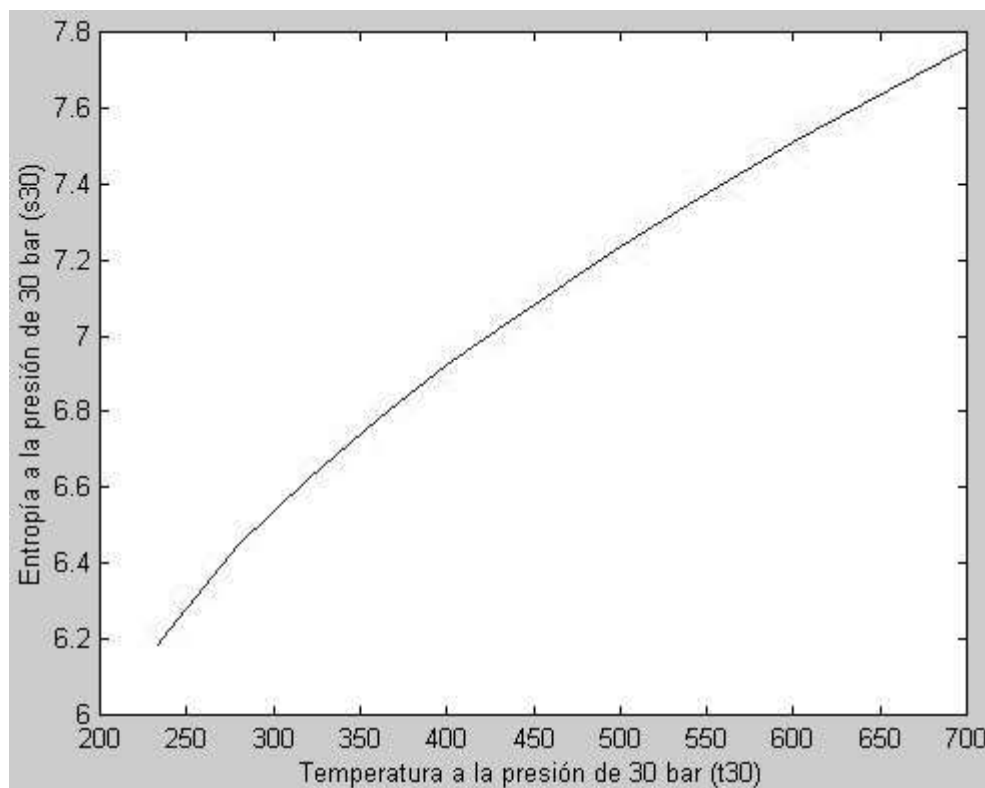


Figura 3.45. Gráfica de datos reales de t_{30} - s_{30}

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden tres.

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t30,s30,3)
```

```
s30= -7.0014-9t3- 1.2813-5 t2+ 0.0104t+4.3812
```

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t30,s30,4)
```

```
s30= -2.1195-11t4- 4.6441-8t3- 3.9153-5t2+0.0178t+3.6359
```

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(t30,s30,5)
```

```
s30= 7.0958-14t5-1.8657-10t4- 1.957-7t3-1.0416-4t2-0.0314t+2.5393
```

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste3=poly3(1)*t30.^3+poly3(2)*t30.^2+poly3(3)*t30+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t30.^4+poly4(2)*t30.^3+poly4(3)*t30.^2+poly4(4)*t30+poly4(5);
```

```
ajuste5=poly5(1)*t30.^5+poly5(2)*t30.^4+poly5(3)*t30.^3+poly5(4)*t30.^2+poly5(5)  
*t30+poly5(6);
```

En la figura 3.46 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

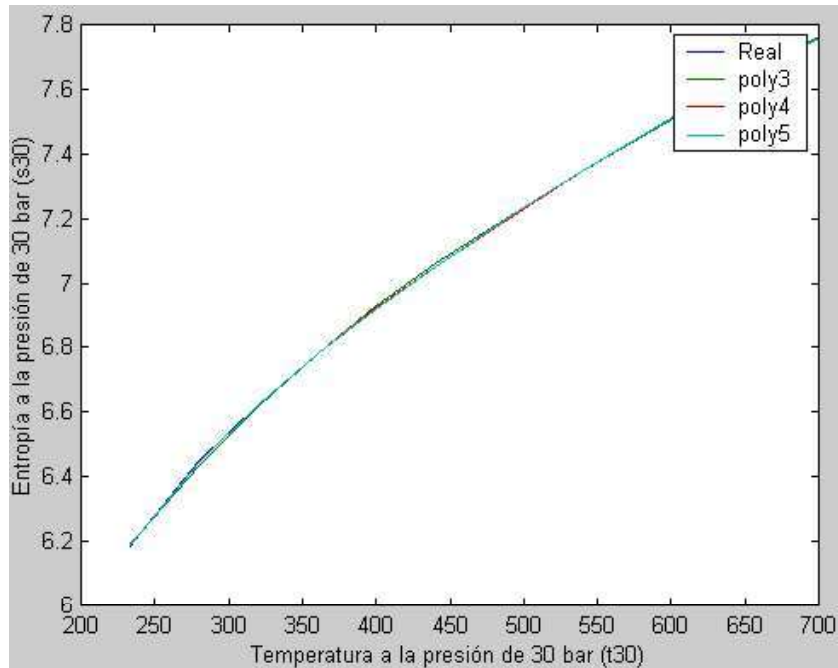


Figura 3.46. Gráfica de curvas Real y polinomios para s30

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3), de grado cuatro (poly4) y grado cinco (poly5), se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.44 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

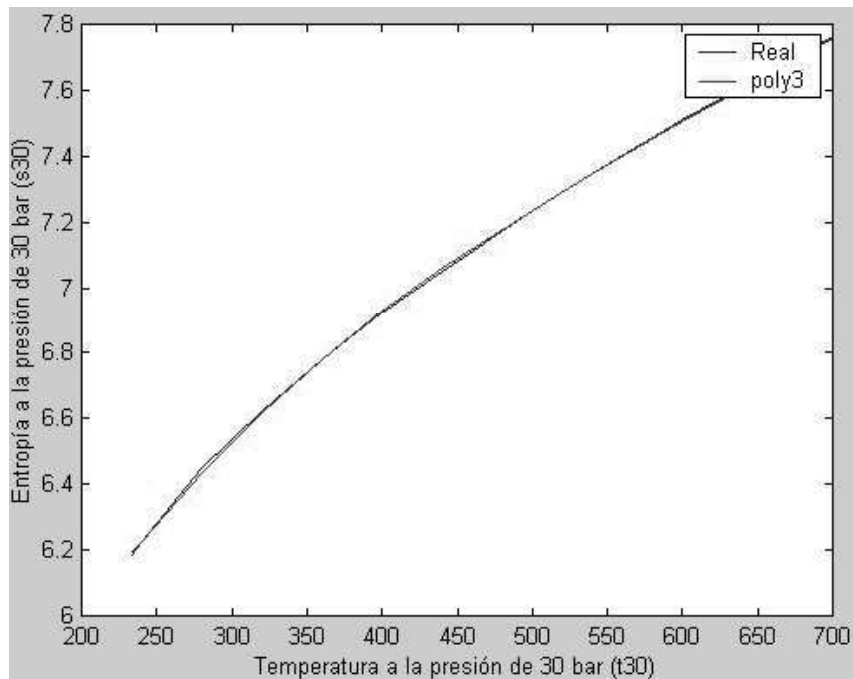


Figura 3.47. Gráfica de curva Real y poly3 para s30

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entropía de vapor sobrecalentado a una presión de 30 bar es:

$$s_{30} = -7.0014 \cdot 10^{-9} t^3 - 1.2813 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0104 t + 4.3812$$

g) POLINOMIOS PARA ENCONTRAR LA ENTALPIA Y ENTROPIA DE VAPOR SOBRECANTADO PARA UNA PRESIÓN DE 40 BAR

Para el polinomio para obtener las entalpías a una presión de cuarenta bar de la tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t40) y los datos de las entalpías (h40).

t40=[250.4 280 320 360 400 440 500 540 600 640 700 740];

h40=[2801.4 2901.8 3015.4 3117.2 3213.6 3307.1 3445.3 3536.9 3674.4 3766.6 3905.9 3999.6];

En la figura 3.48 muestra la gráfica de los datos reales de la temperatura (t40) y la entalpía (h40)

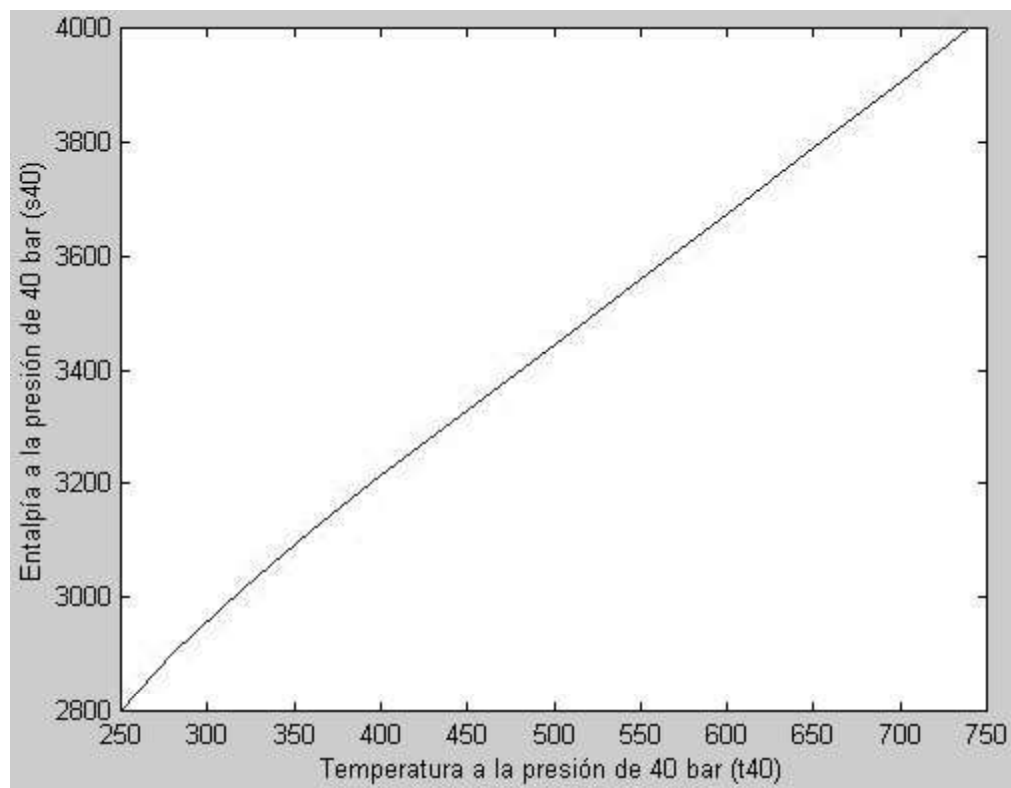


Figura 3.48. Gráfica de valores reales t40-h40

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden tres.

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t40,h40,3)
```

$$h40= 3.020 \cdot 10^{-6} t^3 - 0.005 t^2 + 5.0169 t + 1820$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t40,h40,4)
```

$$h40= -1.0489 \cdot 10^{-8} t^4 + 2.374 \cdot 10^{-5} t^3 - 0.0197 t^2 - 9.4502 t + 1344.1$$

Para el polinomio de 5º grado

```
poly5=polyfit(t40,h40,5)
```

$$h40= 3.6386 \cdot 10^{-11} t^5 - 1.0035 \cdot 10^{-7} t^4 + 1.098 \cdot 10^{-4} t^3 - 0.0596 t^2 + 18.3352 t + 581.1814$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

$$\text{ajuste3} = \text{poly3}(1) \cdot t40.^3 + \text{poly3}(2) \cdot t40.^2 + \text{poly3}(3) \cdot t40 + \text{poly3}(4);$$

$$\text{ajuste4} = \text{poly4}(1) \cdot t40.^4 + \text{poly4}(2) \cdot t40.^3 + \text{poly4}(3) \cdot t40.^2 + \text{poly4}(4) \cdot t40 + \text{poly4}(5);$$

$$\text{ajuste5} = \text{poly5}(1) \cdot t40.^5 + \text{poly5}(2) \cdot t40.^4 + \text{poly5}(3) \cdot t40.^3 + \text{poly5}(4) \cdot t40.^2 + \text{poly5}(5) \cdot t40 + \text{poly5}(6);$$

En la figura 3.49 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

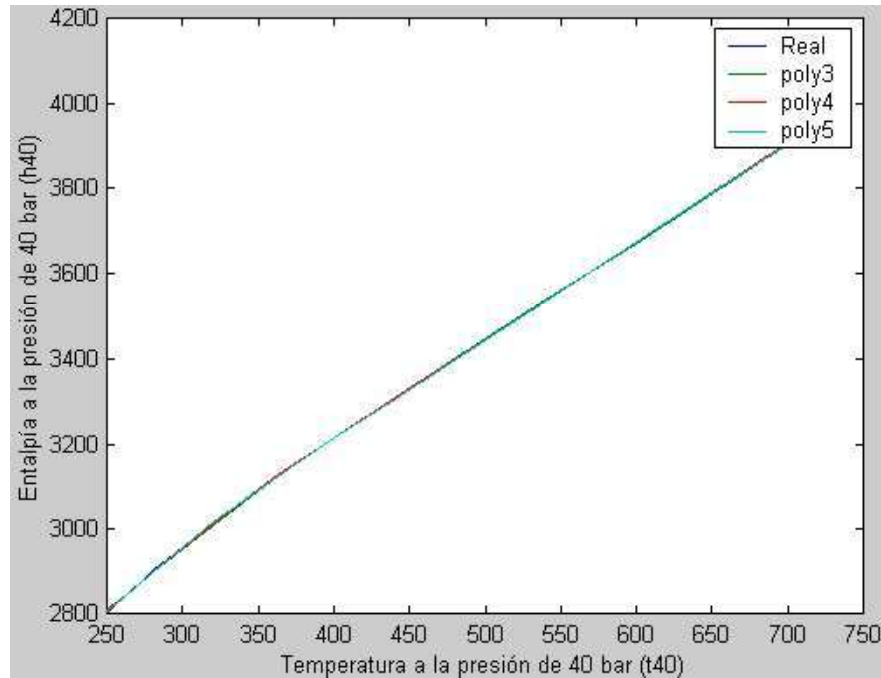


Figura 3.49. Gráficas de curvas Real y polinomios para h40

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3), de grado cuatro (poly4) y grado cinco (poly5), se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.50 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

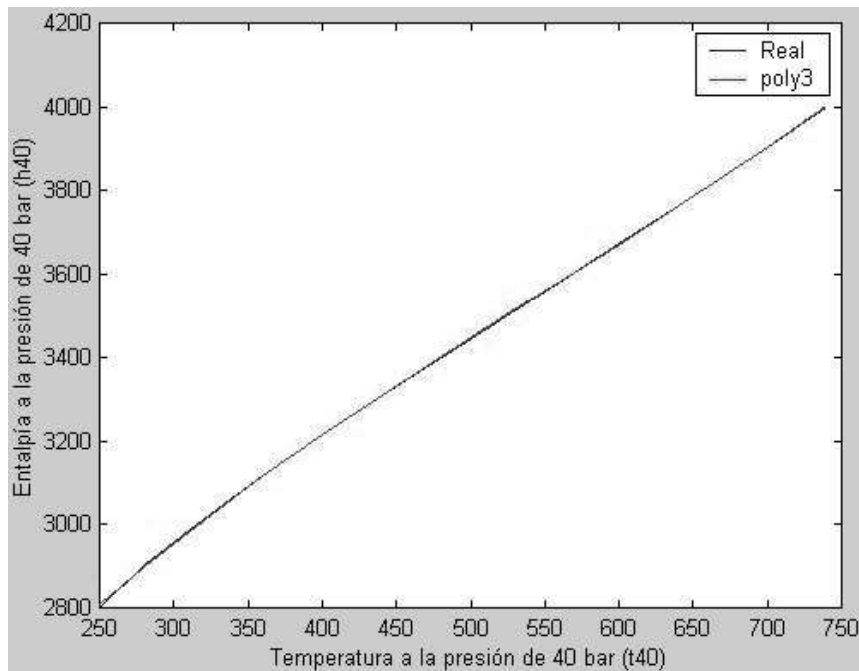


Figura3.50. Gráfica de curvas Real y poly3 para h40

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entalpía de vapor sobrecalentado a una presión de 40 bar es:

$$h_{40} = 3.020 \cdot 10^{-6} t^3 - 0.005 t^2 + 5.0169 t + 1820$$

Para obtener el polinomio para la entropía de vapor sobrecalentado, de las tablas de vapor de agua se obtienen los datos a una presión de cuarenta bars de la temperatura (t_{40}) y de la entropía de vapor sobrecalentado (s_{40}).

$t_{40} = [250.4 \ 280 \ 320 \ 360 \ 400 \ 440 \ 500 \ 540 \ 600 \ 640 \ 700 \ 740]$;

$s_{40} = [6.0701 \ 6.2568 \ 6.4553 \ 6.6215 \ 6.769 \ 6.9041 \ 7.0901 \ 7.2056 \ 7.3688 \ 7.472 \ 7.6198 \ 7.7141]$;

En la figura 3.51 se muestra la gráfica de los datos reales de temperatura (t_{40}) y la entropía (s_{40}).

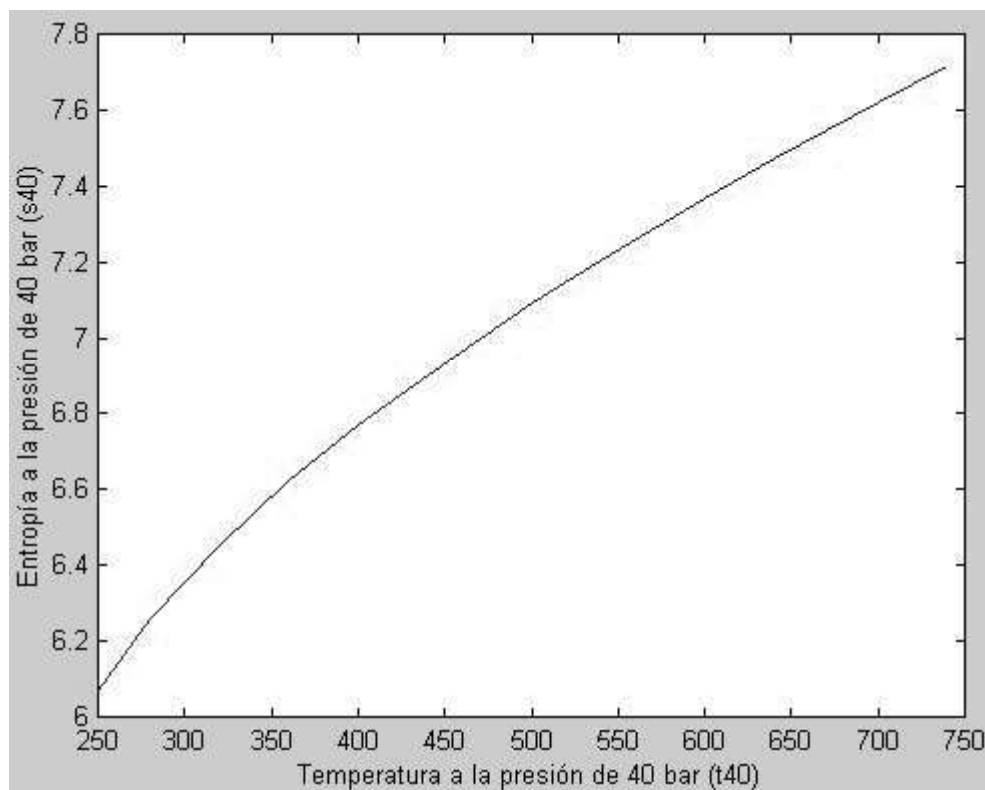


Figura 3.51. Gráficas de los valores reales t_{40} - s_{40}

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden dos.

Para el polinomio de 2do grado

```
poly2=polyfit(t40,s40,2)
```

$$s40 = -3.0445 \cdot 10^{-6} t^2 + 0.0062t + 4.744$$

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t40,s40,3)
```

$$s40 = 7.1729 \cdot 10^{-9} t^3 - 1.3671 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0112t + 4.0313$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t40,s40,4)
```

$$s40 = -2.2616 \cdot 10^{-11} t^4 + 5.1844 \cdot 10^{-8} t^3 - 4.5404 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0207t + 3.0051$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste2=poly2(1)*t40.^2+poly2(2)*t40+poly2(3);
```

```
ajuste3=poly3(1)*t40.^3+poly3(2)*t40.^2+poly3(3)*t40+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t40.^4+poly4(2)*t40.^3+poly4(3)*t40.^2+poly4(4)*t40+poly4(5);
```

En la figura 3.52 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

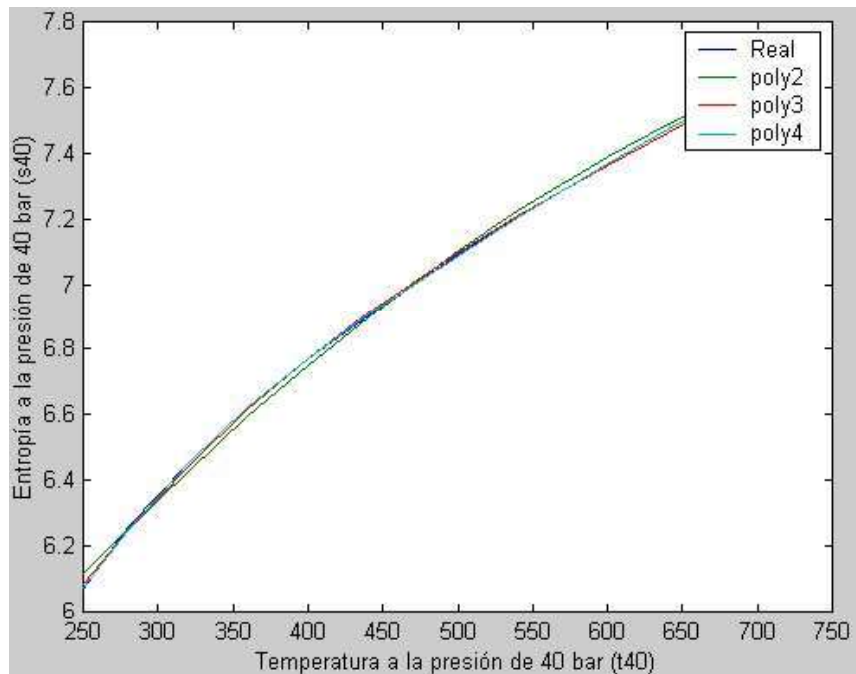


Figura 3.52. Gráfica de curvas Real y polinomios para s40

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3) y de grado cuatro (poly4) se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.53 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

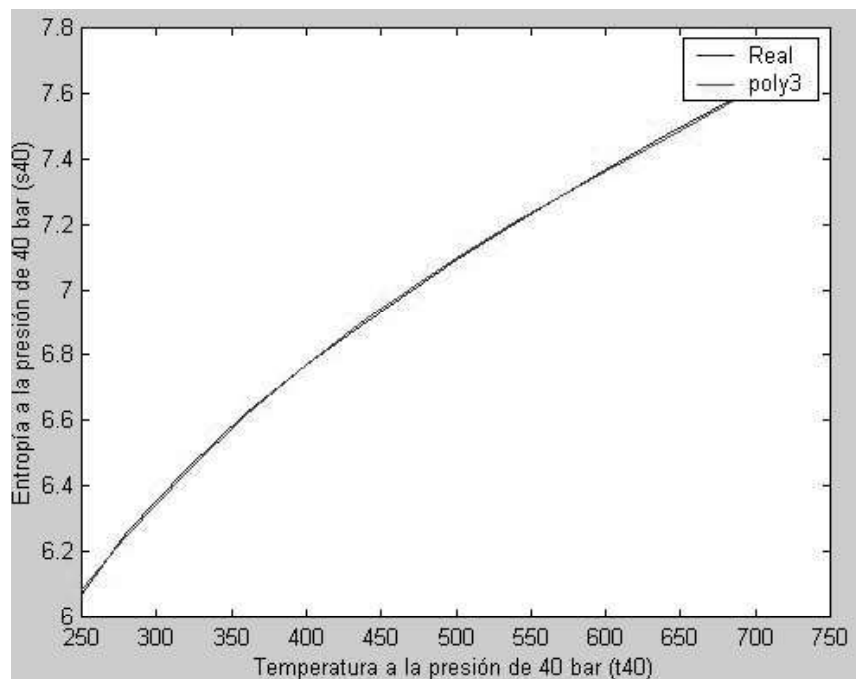


Figura 3.53. Gráfica de curvas Real y poly3 para s40

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entropía de vapor sobrecalentado a una presión de 40 bar es:

$$s_{40} = -7.1729 \cdot 10^{-9} t^3 - 1.3671 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0112 t + 4.0313$$

h) POLINOMIOS PARA ENCONTRAR LA ENTALPIA Y ENTROPIA DE VAPOR SOBRECANTADO PARA UNA PRESIÓN DE 60 BAR

Para el polinomio para obtener las entalpías a una presión de sesenta bar de la tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t60) y los datos de las entalpías (h60).

t60=[275.64 280 320 360 400 440 500 540 600 640 700 740];

h60=[2784.3 2804.2 2952.6 3071.1 3177.2 3277.3 3422.2 3517 3658.4 3752.6 3894.1 3989.2];

En la figura 3.54 muestra la gráfica de los datos reales de la temperatura (t60) y la entalpía (h60).

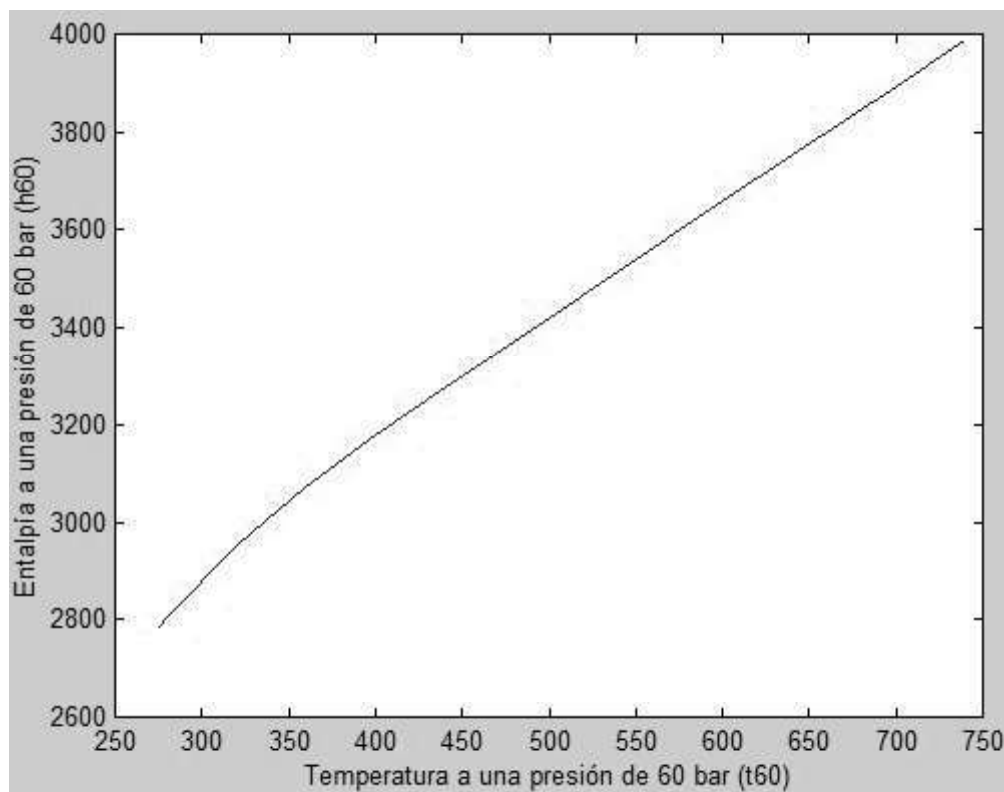


Figura 3.54. Gráfica de datos reales t60-h60

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden dos.

Para el polinomio de 2do grado

```
poly2=polyfit(t40,s40,2)
```

$h60 = -0.0011 t^2 + 3.618t + 1888.3$

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t60,h60,3)
```

$h60 = 4.9679 t^3 - 0.0086 t^2 + 7.1819t + 1358.2$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t60,h60,4)
```

$h60 = -1.7863 t^4 + 4.0995 t^3 - 0.0348 t^2 + 15.3463t + 447.3618$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste2=poly2(1)*t60.^2+poly2(2)*t60+poly2(3);
```

```
ajuste3=poly3(1)*t60.^3+poly3(2)*t60.^2+poly3(3)*t60+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t60.^4+poly4(2)*t60.^3+poly4(3)*t60.^2+poly4(4)*t60+poly4(5);
```

En la figura 3.55 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

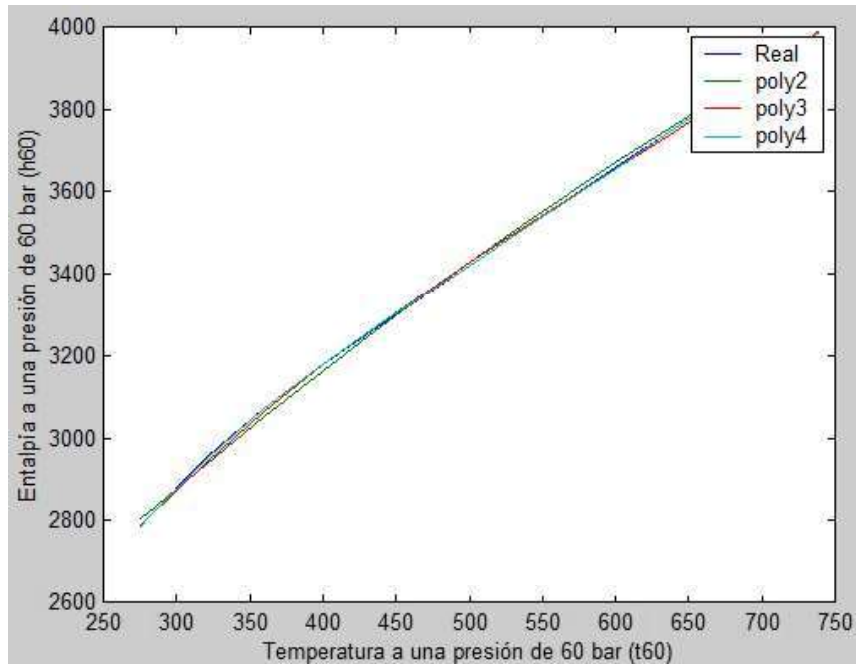


Figura 3.55. Gráfica de curvas Real y polinomios para h60

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3) y de grado cuatro (poly4) se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.56 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

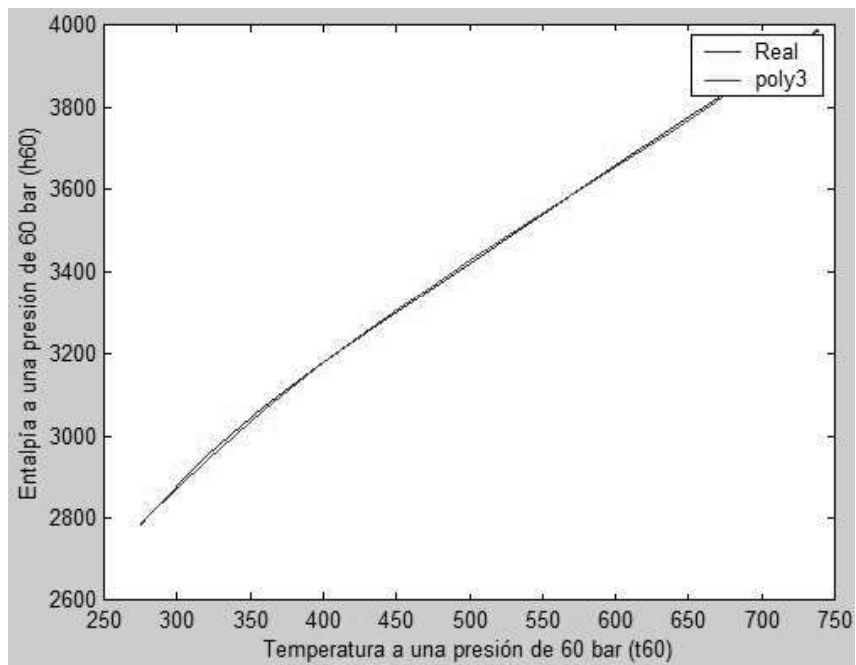


Figura 3.56 Curvas Real y poly3 para h60

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entalpía de vapor sobrecalentado a una presión de 60 bar es:

$$h_{60} = 4.9679 \cdot 10^{-6} t^3 - 0.0086 t^2 + 7.1819 t + 1358.2$$

Para el polinomio para obtener las entropías a una presión de sesenta bar de la tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t_{60}) y los datos de las entropías (s_{60}).

$t_{60} = [275.64 \ 280 \ 320 \ 360 \ 400 \ 440 \ 500 \ 540 \ 600 \ 640 \ 700 \ 740];$

$s_{60} = [5.8892 \ 5.9252 \ 6.1846 \ 6.3782 \ 6.5408 \ 6.6853 \ 6.8803 \ 6.9999 \ 7.1677 \ 7.2731 \ 7.4234 \ 7.519];$

En la figura 3.57 muestra la gráfica de los datos reales de la temperatura (t_{60}) y la entalpía (s_{60}).

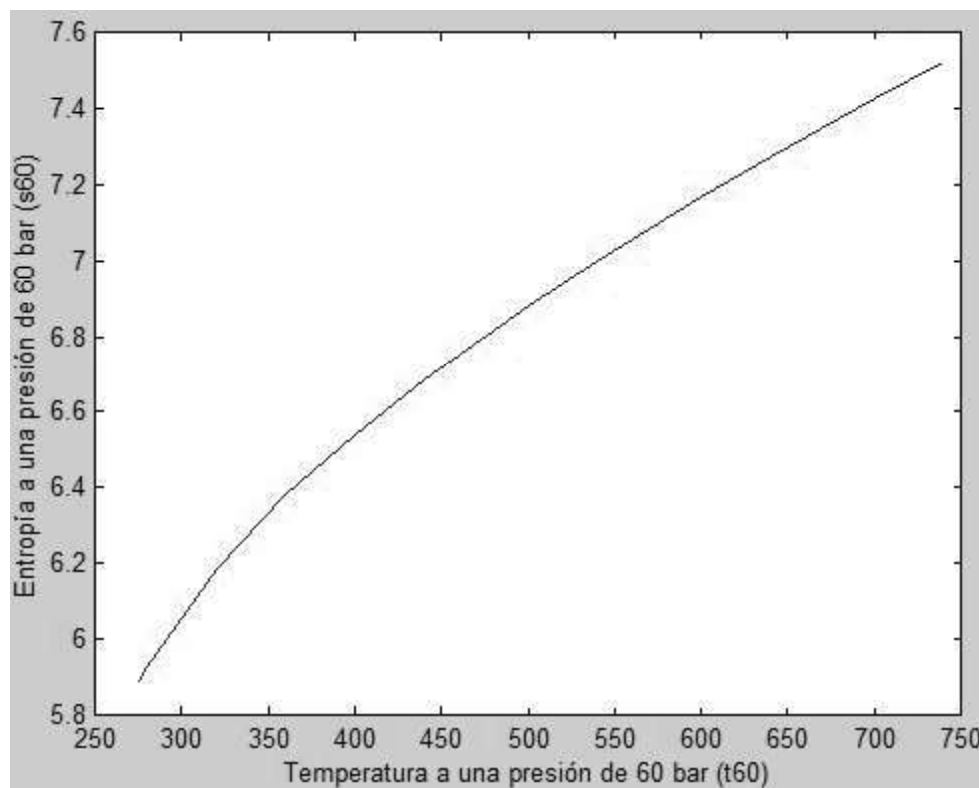


Figura 3.57. Gráfica de los valores Reales t_{60} - s_{60}

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden dos.

Para el polinomio de 2do grado

```
poly2=polyfit(t60,s60,2)
```

$$s60 = -3.8719 \cdot 10^{-6} t^2 + 0.0073t + 4.2133$$

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t60,s60,3)
```

$$s60 = -1.0491 \cdot 10^{-8} t^3 - 1.9691 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0148t + 3.0939$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t60,s60,4)
```

$$s60 = -3.5449 \cdot 10^{-11} t^4 + 8.1988 \cdot 10^{-8} t^3 - 7.1803 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0310t + 1.2862$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste2=poly2(1)*t60.^2+poly2(2)*t60+poly2(3);
```

```
ajuste3=poly3(1)*t60.^3+poly3(2)*t60.^2+poly3(3)*t60+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t60.^4+poly4(2)*t60.^3+poly4(3)*t60.^2+poly4(4)*t60+poly4(5);
```

En la figura 3.58 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

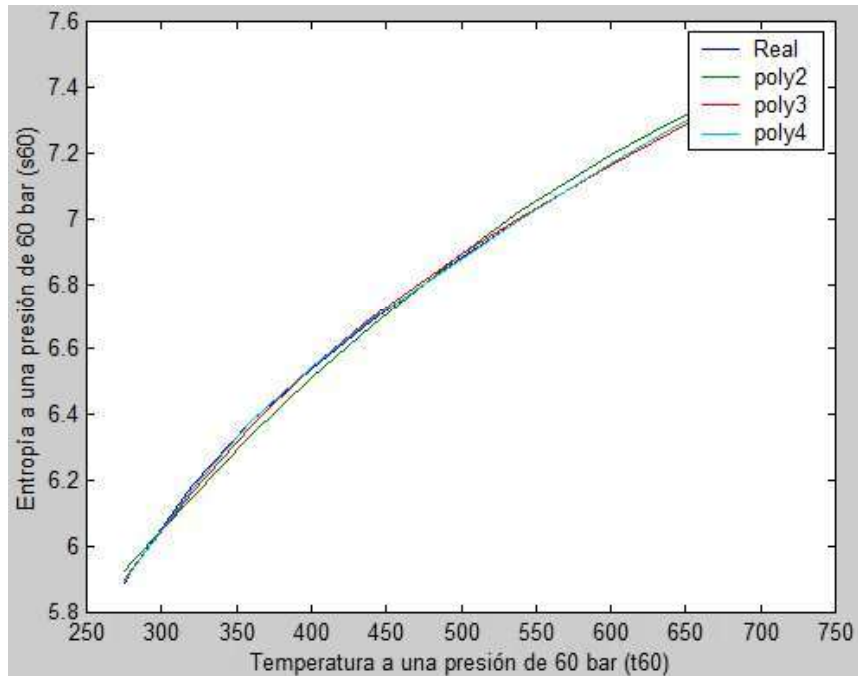


Figura 3.58. Gráfica de curvas Real y polinomios para s_{60}

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3) y de grado cuatro (poly4) se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.59 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

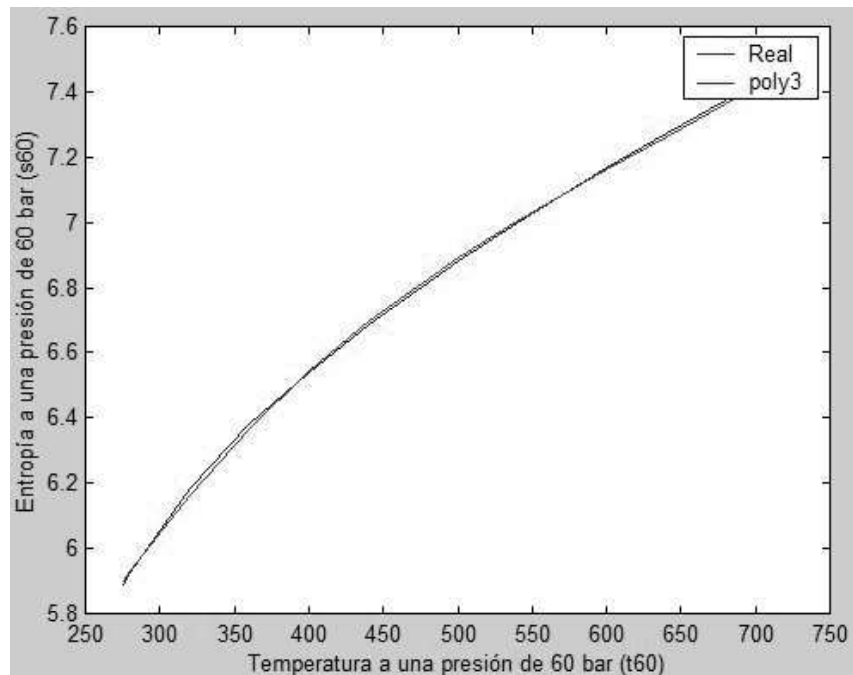


Figura 3.59. Curvas Real y poly3 para s_{60}

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entropía de vapor sobrecalentado a una presión de 60 bar es:

$$s_{60} = -1.0491 \cdot 10^{-8} t^3 - 1.9691 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0148 t + 3.0939$$

i) POLINOMIOS PARA ENCONTRAR LA ENTALPIA Y ENTROPIA DE VAPOR SOBRECANTADO PARA UNA PRESIÓN DE 80 BAR

Para el polinomio para obtener las entalpías a una presión de ochenta bar de la tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t80) y los datos de las entalpías (h80).

t80=[295.06 320 360 400 440 480 520 560 600 640 700 740];

h80=[2758 2877.2 3019.8 3138.3 3246.1 3348.4 3447.7 3545.3 3642 3738.3 3882.4 3978.7];

En la figura 3.60 muestra la gráfica de los datos reales de la temperatura (t80) y la entalpía (h80).

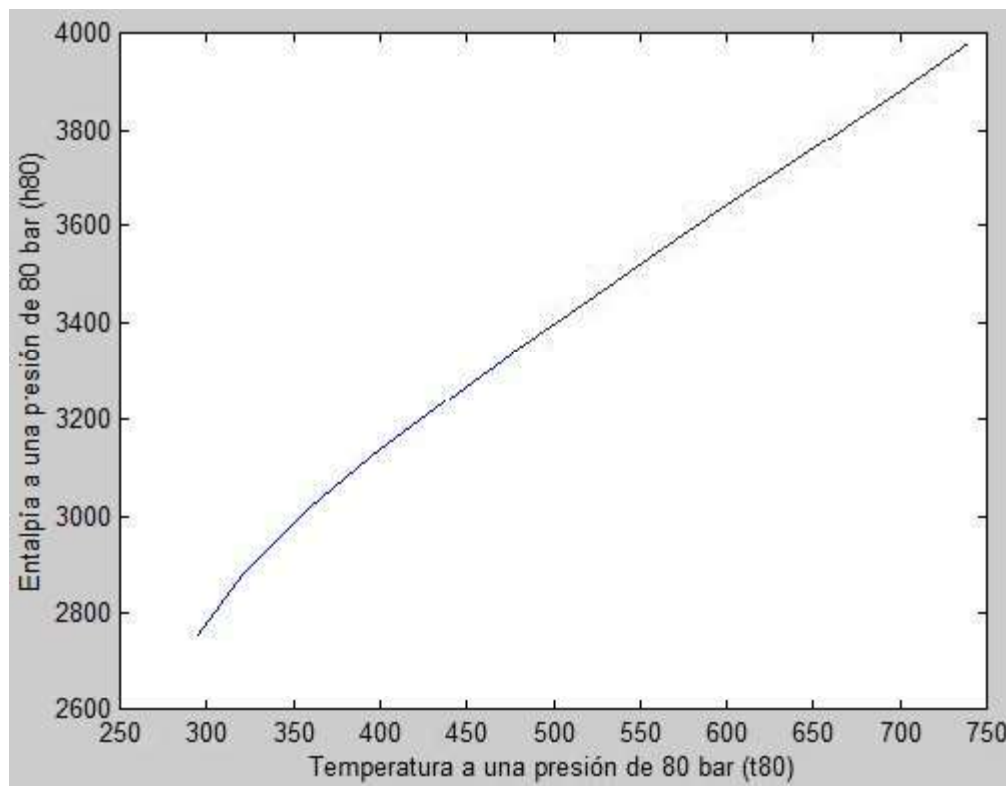


Figura 3.60. Gráfica de valores reales t80-h80

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden dos.

Para el polinomio de 2do grado

```
poly2=polyfit(t80,h80,2)
```

$$h80 = -0.0014 t^2 + 4.1172t + 1700.7$$

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t80,h80,3)
```

$$h80 = 6.7493 t^3 - 0.0119 t^2 + 9.2804 t + 894.5042$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t80,h80,4)
```

$$h80 = -2.7424 t^4 + 6.3361 t^3 - 0.0544 t^2 + 22.9725 t - 701.7342$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste2=poly2(1)*t80.^2+poly2(2)*t80+poly2(3);
```

```
ajuste3=poly3(1)*t80.^3+poly3(2)*t80.^2+poly3(3)*t80+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t80.^4+poly4(2)*t80.^3+poly4(3)*t80.^2+poly4(4)*t80+poly4(5);
```

En la figura 3.61 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

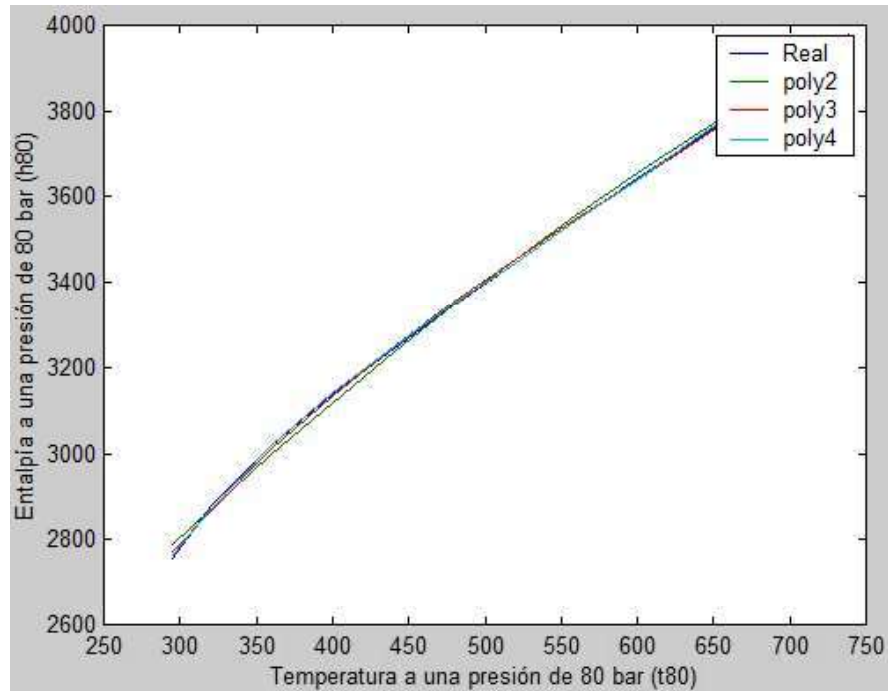


Figura 3.61. Gráfica de curvas Real y polinomios para h80

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3) y de grado cuatro (poly4) se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.62 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

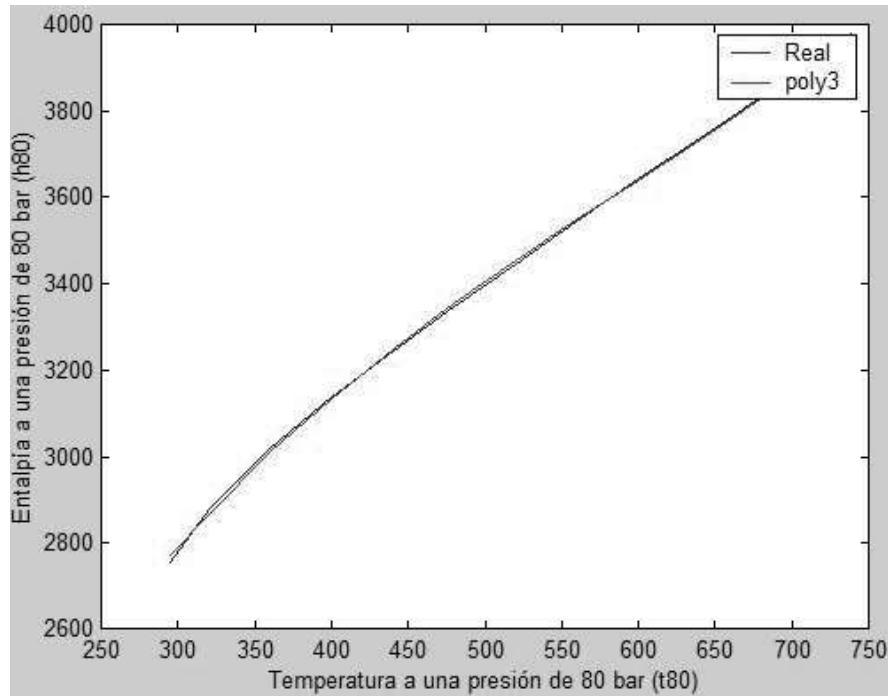


Figura 3.62. Curvas Real y poly3 para h80

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entalpía de vapor sobrecalentado a una presión de 80 bar es:

$$h_{80} = 6.7493t^3 - 0.0119t^2 + 9.2804t + 894.5042$$

Para el polinomio para obtener las entropías a una presión de ochenta bar de la tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t80) y los datos de las entropías (s80).

t80=[295.06 320 360 400 440 480 520 560 600 640 700 740];

s80=[5.7432 5.9489 6.1819 6.3634 6.519 6.6586 6.7871 6.9072 7.0206 7.1283 7.2812 7.3782];

En la figura 3.63 muestra la gráfica de los datos reales de la temperatura (t80) y la entropía (s80).

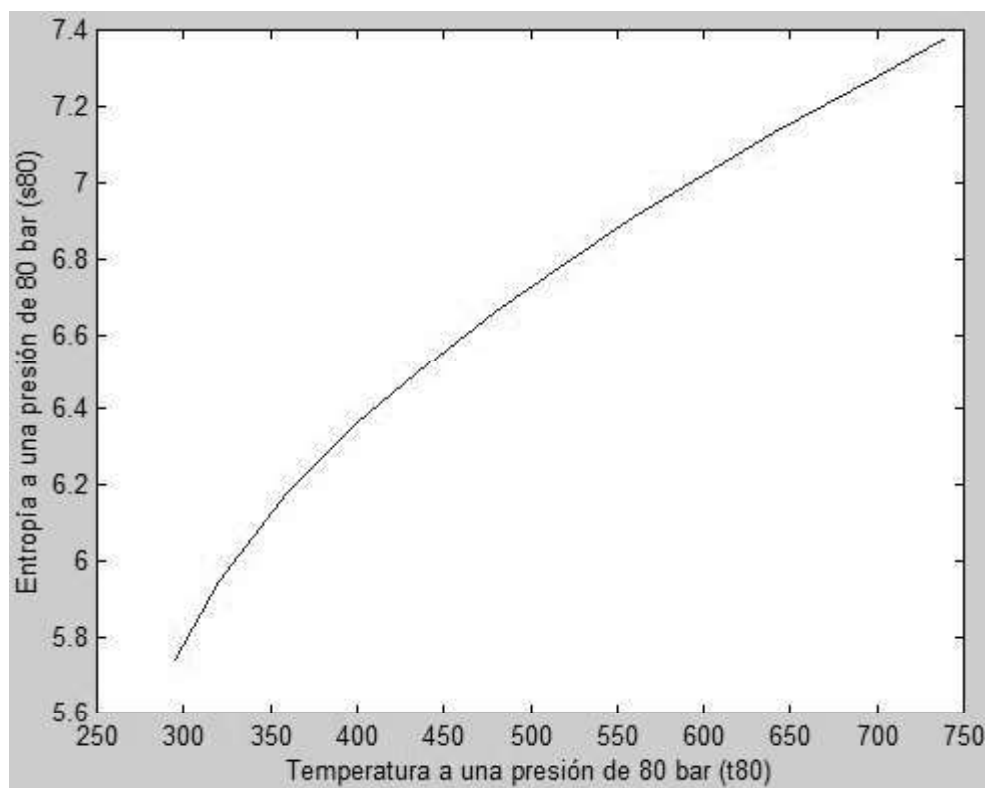


Figura 3.63. Gráfica de los valores reales de t80-s80

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden dos.

Para el polinomio de 2do grado

```
poly2=polyfit(t80,s80,2)
```

$$s80 = -4.3274 \cdot 10^{-6} t^2 + 0.0079t + 3.8401$$

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t80,s80,3)
```

$$s80 = 1.3296 \cdot 10^{-8} t^3 - 2.4937 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0181t + 2.2521$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t80,s80,4)
```

$$s80 = -5.1583 \cdot 10^{-11} t^4 + 1.1978 \cdot 10^{-7} t^3 - 1.0483 \cdot 10^{-4} t^2 + 0.0439t - 0.7504$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste2=poly2(1)*t80.^2+poly2(2)*t80+poly2(3);
```

```
ajuste3=poly3(1)*t80.^3+poly3(2)*t80.^2+poly3(3)*t80+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t80.^4+poly4(2)*t80.^3+poly4(3)*t80.^2+poly4(4)*t80+poly4(5);
```

En la figura 3.64 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

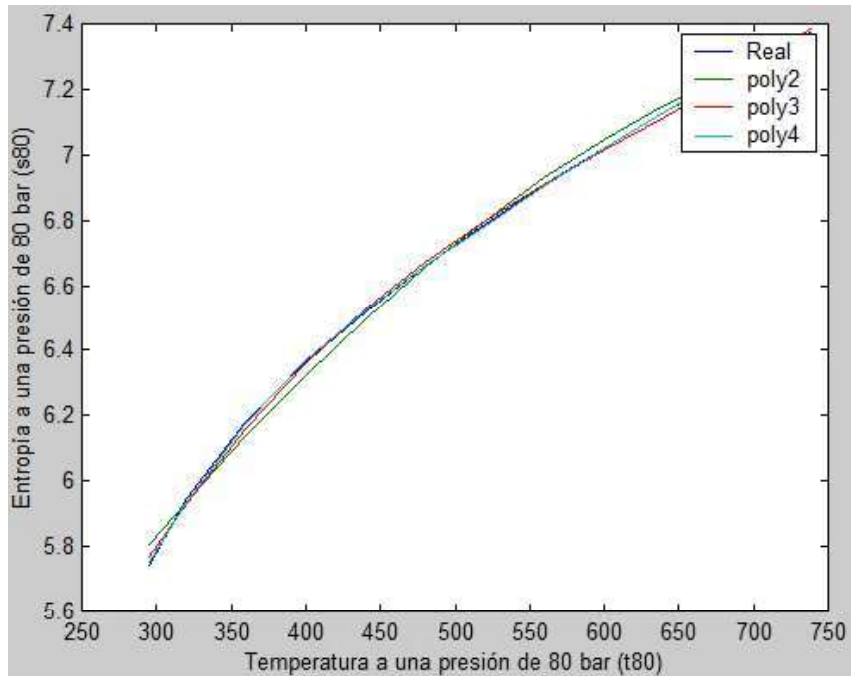


Figura 3.64. Gráfica de curvas Real y polinomios para s80

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3) y de grado cuatro (poly4) se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.65 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

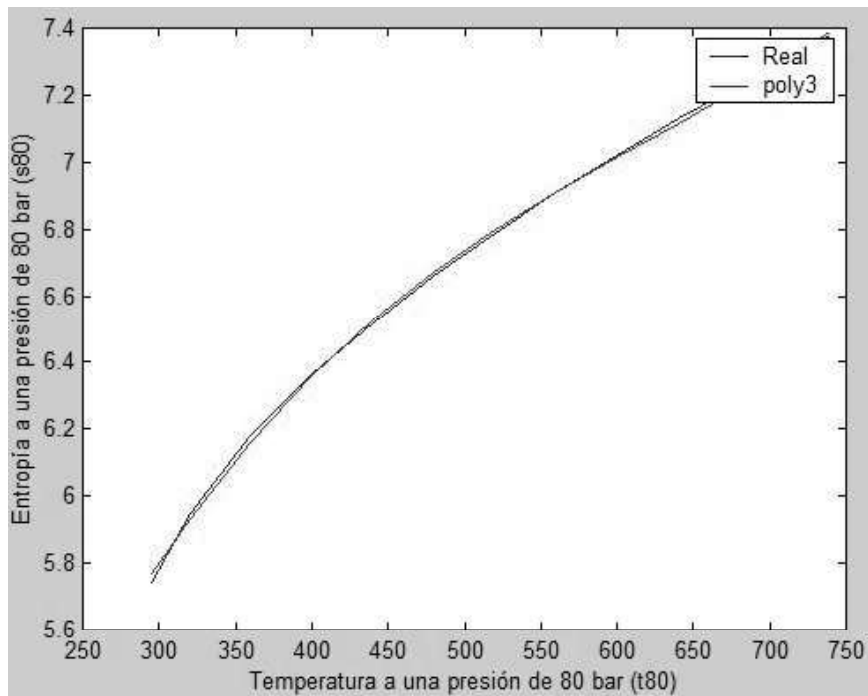


Figura 3.65. Gráfica de curvas Real y poly3 para s80

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entropía de vapor sobrecalentado a una presión de 80 bar es:

$$s_{80} = 1.3296^{-8}t^3 - 2.4937^{-5}t^2 + 0.0181t - 2.2521$$

j) POLINOMIOS PARA ENCONTRAR LA ENTALPIA Y ENTROPIA DE VAPOR SOBRECANTADO PARA UNA PRESIÓN DE 100 BAR

Para el polinomio para obtener las entalpías a una presión de cien bars de la tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t100) y los datos de las entalpías (h100).

t100= [311.06 320 360 400 440 480 520 560 600 640 700 740];

h100= [2724.7 2781.3 2962.1 3096.5 3213.2 3321.4 3425.1 3526 3625.3 3723.7 3870.5 3968.1];

En la figura 3.66 muestra la gráfica de los datos reales de la temperatura (t100) y la entalpía (h100).

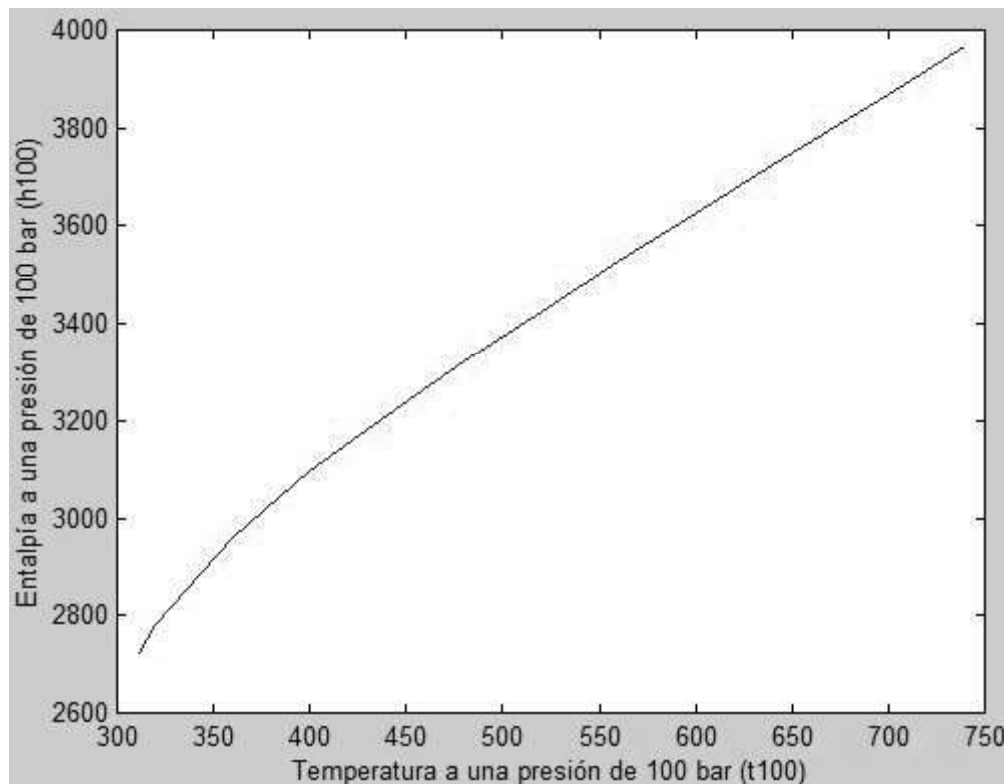


Figura 3.66. Gráfica de valores reales de t100-h100

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden dos.

Para el polinomio de 2do grado

```
poly2=polyfit(t100,h100,2)
```

$$h100 = -0.0020 t^2 + 4.9262t + 1424.7$$

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t100,h100,3)
```

$$h100 = 9.3836 t^3 - 0.0167 t^2 + 12.2808t + 256.5147$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t100,h100,4)
```

$$h100 = -3.8992 t^4 + 9.0946 t^3 - 0.0789 t^2 + 32.698t - 2176.4$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste2=poly2(1)*t100.^2+poly2(2)*t100+poly2(3);
```

```
ajuste3=poly3(1)*t100.^3+poly3(2)*t100.^2+poly3(3)*t100+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t100.^4+poly4(2)*t100.^3+poly4(3)*t100.^2+poly4(4)*t100+  
poly4 (5);
```

En la figura 3.67 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

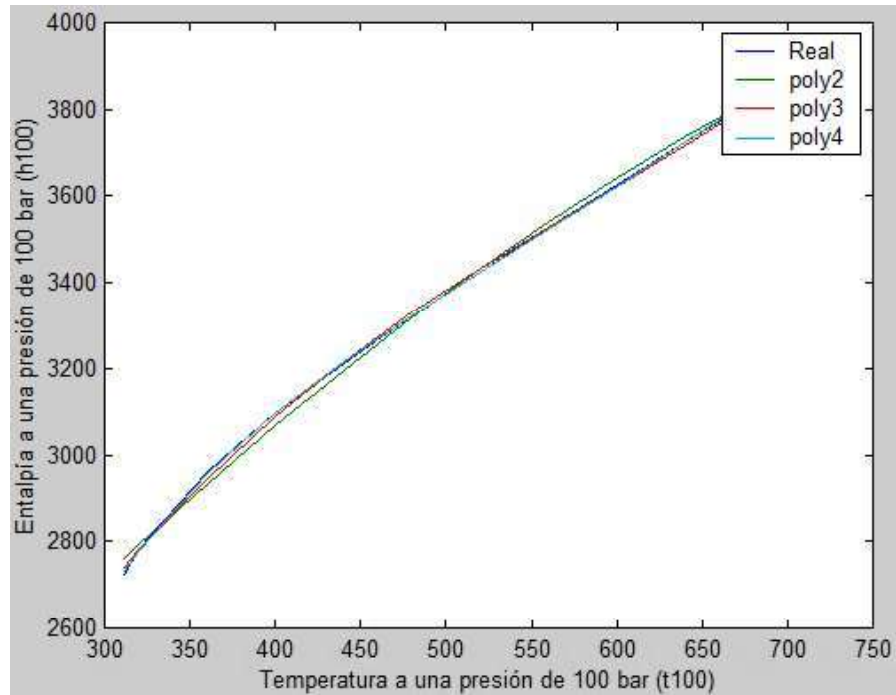


Figura 3.67. Gráfica de curvas Real y polinomios para h100

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3) y de grado cuatro (poly4) se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.68 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

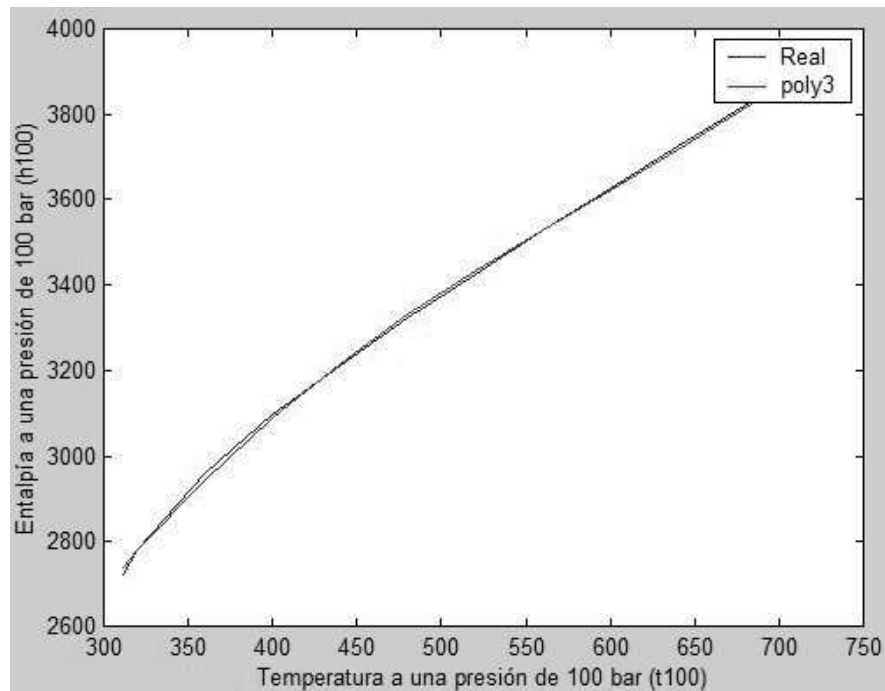


Figura 3.68. Gráfica de curvas Real y poly3 para h100

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entalpía de vapor sobrecalentado a una presión de 100 bar es:

$$h_{100} = 9.3836 \cdot 10^{-6} t^3 - 0.0167 t^2 + 12.2808 t + 256.5147$$

Para el polinomio para obtener las entropías a una presión de cien bar de la tablas de vapor sobrecalentado utilizamos los datos de la temperatura (t100) y los datos de las entropías (s100).

t100=[311.06 320 360 400 440 480 520 560 600 640 700 740];

s100=[5.6141 5.7103 6.006 6.212 6.3805 6.5282 6.6622 6.7864 6.9029 7.0131 7.1687 7.267];

En la figura 3.69 muestra la gráfica de los datos reales de la temperatura (t100) y la entropía (s100).

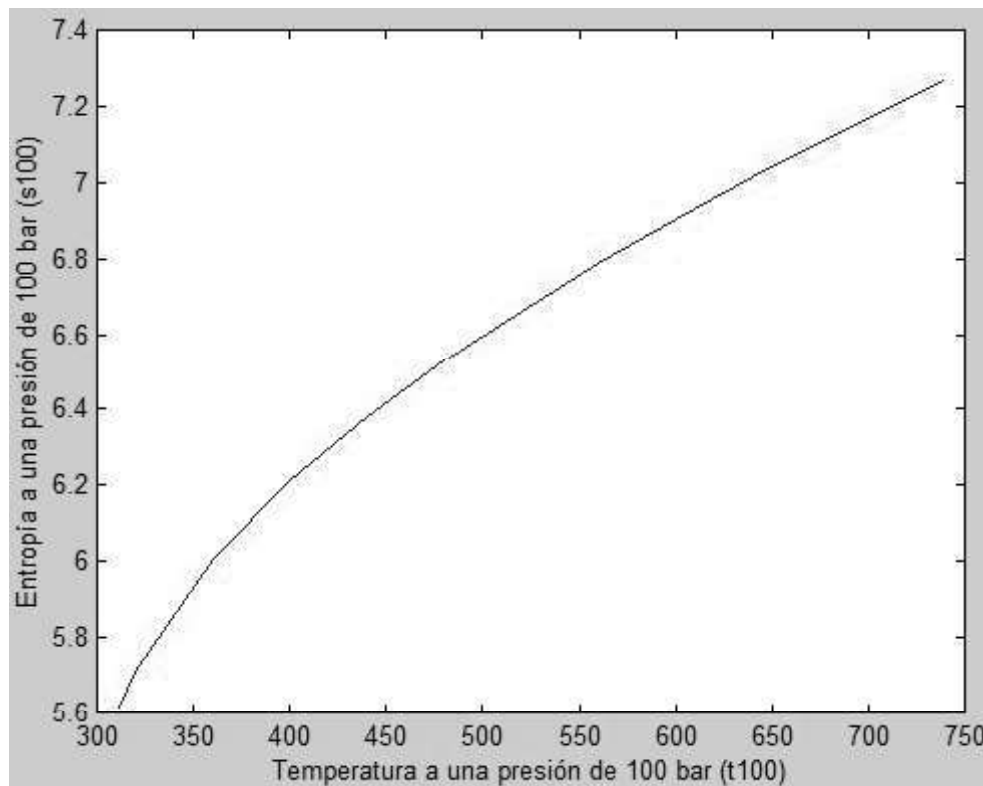


Figura 3.69. Gráfica de los valores reales de t100-s100

Obteniendo los polinomios en matlab por la función polyfit empezando con el de orden dos.

Para el polinomio de 2do grado

```
poly2=polyfit(t100,s100,2)
```

$$s100 = -5.2666 \cdot 10^{-6} t^2 + 0.0092t + 3.3383$$

Para el polinomio de 3er grado

```
poly3=polyfit(t100,s100,3)
```

$$s100 = 1.7508 \cdot 10^{-8} t^3 - 3.2696 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0229t + 1.1588$$

Para el polinomio de 4º grado

```
poly4=polyfit(t100,s100,4)
```

$$s100 = -7.0358 \cdot 10^{-11} t^4 + 1.6468 \cdot 10^{-7} t^3 - 1.4487 \cdot 10^{-4} t^2 + 0.0597t - 3.2312$$

Haciendo los ajustes por el método de Mínimos Cuadrados.

```
ajuste2=poly2(1)*t100.^2+poly2(2)*t100+poly2(3);
```

```
ajuste3=poly3(1)*t100.^3+poly3(2)*t100.^2+poly3(3)*t100+poly3(4);
```

```
ajuste4=poly4(1)*t100.^4+poly4(2)*t100.^3+poly4(3)*t100.^2+poly4(4)*t100+poly4(5);
```

En la figura 3.70 se muestra la aproximación de las gráficas de los ajustes de polinomios y la real para así identificar la curva más semejante a la real y así muestre cual polinomio es el más aproximado.

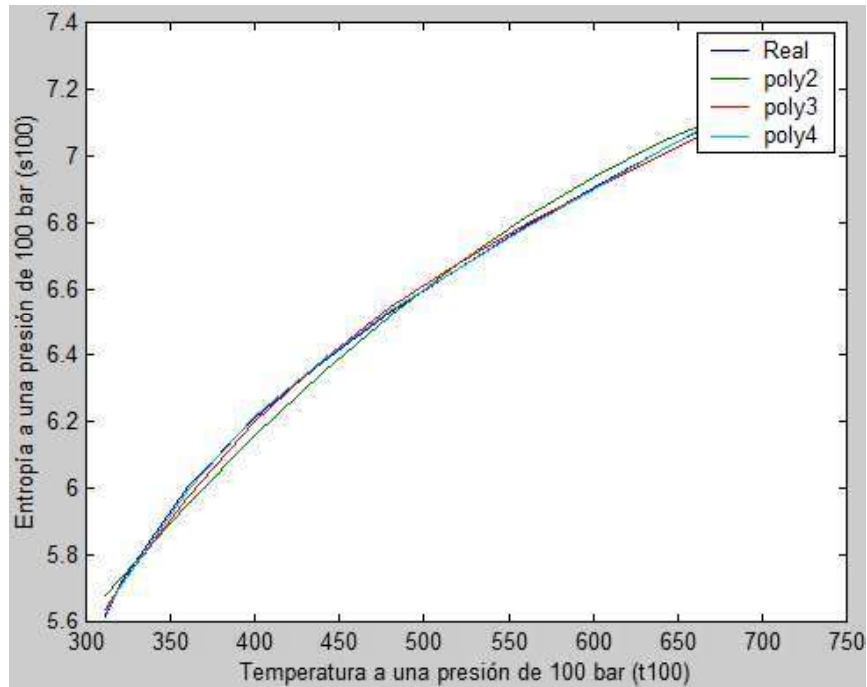


Figura 3.70. Gráfica de curvas Real y polinomios para s100

Como se observa en la figura anterior las curvas de los polinomios de grado tres (poly3) y de grado cuatro (poly4) se asemejan con la real por lo que el polinomio a utilizar es el polinomio de grado tres para mayor simplicidad. En la figura 3.71 se muestra la gráfica de la curva real y el polinomio de grado tres.

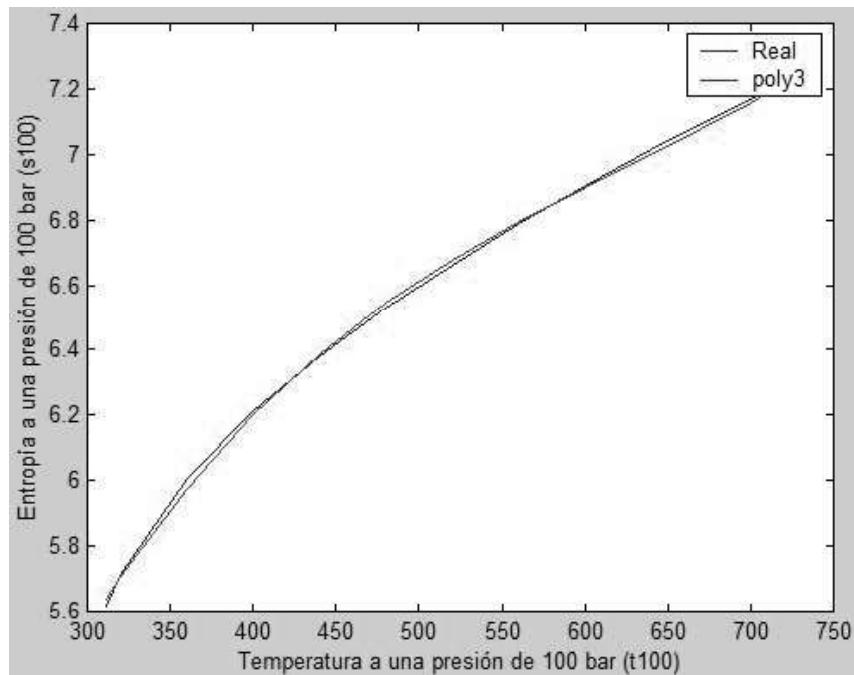


Figura 3.71. Gráfica de curvas Real y poly3 para s100

Por lo tanto el polinomio a utilizar para calcular la entropía de vapor sobrecalentado a una presión de 100 bar es:

$$s_{100} = 1.7508 \cdot 10^{-8} t^3 - 3.2696 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0229 t + 1.1588$$

Con este polinomio se concluye la obtención de polinomios de las tablas de vapor sobrecalentado, como se observó la mayoría de éstos se obtuvieron de orden tres debido a que los datos de las tablas son menores a los que se obtuvieron de vapor saturado.

Capítulo 4

Análisis de una central termoeléctrica utilizando polinomios de aproximación.

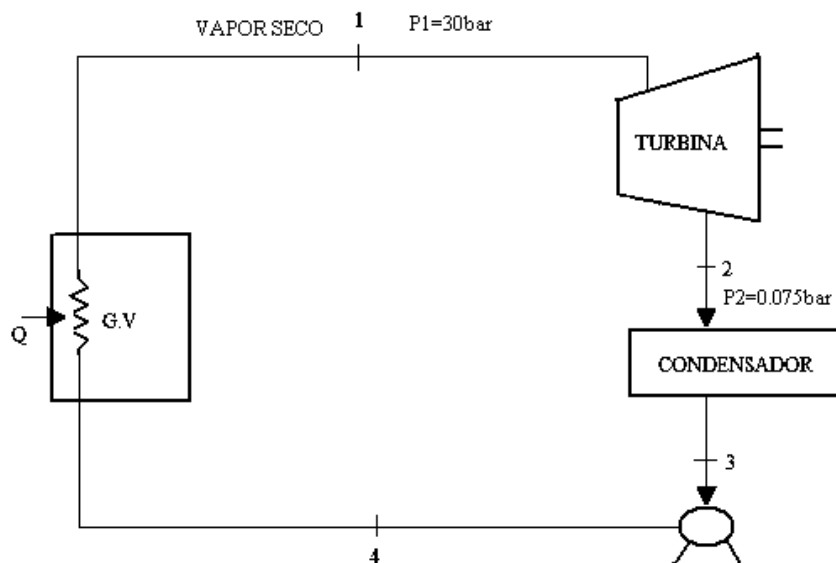
4.1 COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA DE VAPOR SECO POR MEDIO DE TABLAS Y POLINOMIOS DE APROXIMACIÓN

En este punto se hace el análisis de la planta utilizando las tablas de vapor y utilizando los polinomios de aproximación.

4.1.1 ANALISIS DE LA CENTRAL CON LAS TABLAS DE VAPOR DE AGUA

Problema:

Se tiene un planta en la que el vapor que entra a la turbina es seco a una presión de 30 bar, la presión en el condensador es de 0.075 bar. Calcular la eficiencia del ciclo.



Con $P_1=30$ bar de las tablas de vapor obtenemos la entalpía de vapor seco $h_1=2804.2$ y la entropía de vapor saturado $s_1=6.1804$.

Como del punto uno al dos el paso del vapor por la turbina es un proceso isoentrópico

$$s_1=s_2 \quad \text{y} \quad s_2= sf_2 + x_2 sfg_2 \quad (4.1)$$

despejamos la calidad (x_2) para encontrar la entalpía en la entalpía del vapor al salir de la turbina h_2 :

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sfg_2} \quad (4.2)$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2 \quad (4.3)$$

Por lo tanto utilizamos las tablas de vapor de agua para encontrar los valores hf_2 , sf_2 , sg_2 y hfg_2 , con la presión $P_2=0.075$ bar como en la tabla no hay valores para esta presión interpolamos para encontrar estos valores:

P	hf_2	hfg_2	sf_2	sg_2
0.06	151.53	2415.9	0.521	8.3304
0.08	173.88	2403.1	0.5926	8.2287
0.02	22.35	-12.8	0.0716	-0.1017
0.015	16.762	-9.6	0.0537	-0.076
0.075	168.29	2406.3	0.5747	8.2544

Por lo tanto:

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sfg_2} = \frac{6.1869 - 0.5747}{8.2544 - 0.5747} = \frac{5.6122}{7.6797} = 0.7307$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

$$h_2 = 168.29 + 0.7307 (2406.3) = 1926.77 \frac{kJ}{kg}$$

La entalpía a la salida del condensador (h_3) es la entalpía a la presión del condensador.

$h_3 = h_{f2} = 168.79 \frac{kJ}{kg}$ y $h_{f2} = h_4$ despreciando el trabajo de la bomba. Por lo que:

$W_t = h_1 - h_2$ y $Q = h_1 - h_4$

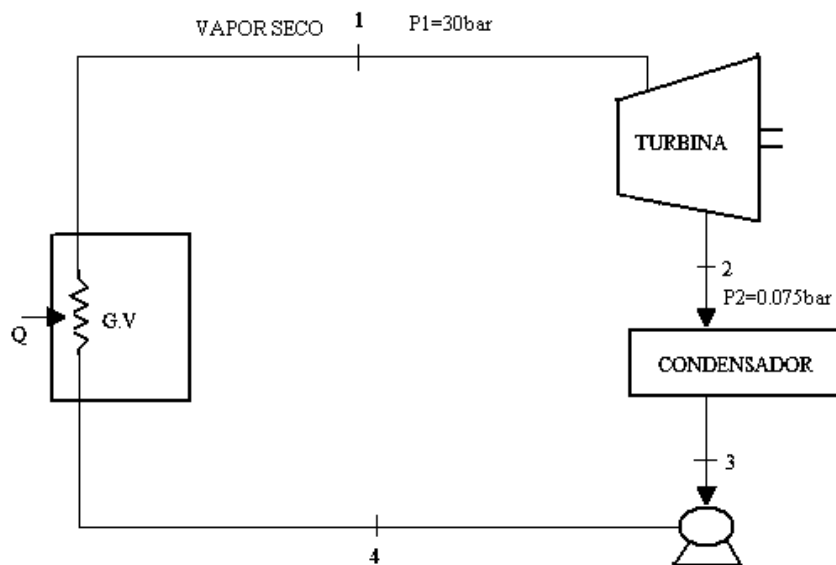
$$e = \frac{W_t}{Q} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{f2}} = \frac{2804.2 - 1926.77}{2804.2 - 168.29} = \frac{877.43}{2635.91} = 0.332$$

$e = 33.2\%$

4.1.2 ANALISIS DE LA CENTRAL UTILIZANDO LOS POLINOMIOS DE APROXIMACIÓN.

Problema:

Se tiene un planta en la que el vapor que entra a la turbina es seco a una presión de 30 bar, la presión en el condensador es de 0.075 bar. Calcular la eficiencia del ciclo.



Para obtener los valores de la entalpía y entropía de vapor seco en el punto uno con la presión $P_1 = 30$ bar utilizamos los polinomios sg_2 y hg_2 obtenidos en capítulo tres que son:

$$hg_2 = -2.383 \times 10^{-10} p^6 + 1.4845 \times 10^{-7} p^5 - 3.625 \times 10^{-5} p^4 + 0.0049 p^3 - 0.2846 p^2 + 28.4549 p + 2716$$

$$sg_2 = -5.7616 \times 10^{-11} p^5 + 3.266 \times 10^{-8} p^4 - 7.0784 \times 10^{-6} p^3 + 7.3326 \times 10^{-4} p^2 - 0.0429 p + 6.9741$$

Sustituyendo la presión de vapor seco en la entrada de la turbina ($P_1=30\text{bar}$) en los polinomios h_{g2} y sg_2 obtenemos la entalpía h_1 y la entropía s_1

$$h_1 = -2.383 \times 10^{-10}(30)^6 + 1.4845 \times 10^{-7}(30)^5 - 3.625 \times 10^{-5}(30)^4 + 0.0049(30)^3 - 0.2846(30)^2 + 28.4549(30) + 2716$$

$$h_1 = 2801.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_1 = -5.7616 \times 10^{-11}(30)^5 + 3.266 \times 10^{-8}(30)^4 - 7.0784 \times 10^{-6}(30)^3 + 7.3326 \times 10^{-4}(30)^2 - 0.0429(30) + 6.9741$$

$$s_1 = 6.181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Como del punto uno al dos el paso del vapor por la turbina es un proceso isoentrópico

$$s_1 = s_2 \quad \text{y} \quad s_2 = sf_2 + x_2 sfg_2$$

despejamos la calidad (x_2) para encontrar la entalpía en la entalpía del vapor al salir de la turbina h_2 :

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sfg_2}$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

Por lo tanto utilizamos los polinomios de aproximación hf_1 , sf_1 , sg_1 y hfg_1 obtenidos en el capítulo tres que son:

$$\begin{aligned} hf_1 &= 1.8129p^7 - 30.56p^6 + 207.801p^5 - 731.30p^4 + 1462.7p^3 - 1554.7p^2 + 995.7684p + 97.5371 \\ sf_1 &= -0.0093p^6 + 0.138p^5 - 0.7935p^4 + 2.2457p^3 - 3.2977p^2 + 2.6265p + 0.3830 \\ sfg_1 &= -0.0151p^7 + 0.2535p^6 - 1.7186p^5 + 6.0201p^4 - 11.6491p^3 + 12.4691p^2 - 7.4792p + 8.2131 \\ hfg_1 &= -1.0129p^7 + 17.089p^6 - 116.286p^5 + 409.697p^4 - 800.5495p^3 + 874.8244p^2 - 570.1p + 2446.8 \end{aligned}$$

Para encontrar los valores hf_2 , sf_2 , sfg_2 y hfg_2 , sustituyendo en las ecuaciones con la presión $P_2=0.075 \text{ bar}$

Para la entalpía de líquido saturado hf_2 se utiliza polinomio hf_1

$$hf_2 = 1.8129(0.075)^7 - 30.56(0.075)^6 + 207.801(0.075)^5 - 731.30(0.075)^4 + 1462.7(0.075)^3 - 1554.7(0.075)^2 + 995.7684(0.075) + 97.5371$$

$$hf_2 = 164.06 \frac{kJ}{kg}$$

Para la entropía de líquido saturado sf_2 se utiliza polinomio sf_1 .

$$sf_2 = -0.0093(0.075)^6 + 0.138(0.075)^5 - 0.7935(0.075)^4 + 2.2457(0.075)^3 - 3.2977(0.075)^2 + 2.6265(0.075) + 0.3830$$

$$sf_2 = 0.5624 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Para la entalpía de evaporación hfg_2 se utiliza el polinomio hfg_1 .

$$hfg_2 = -1.0129(0.075)^7 + 17.089(0.075)^6 - 116.286(0.075)^5 + 409.697(0.075)^4 - 800.5495(0.075)^3 + 874.8244(0.075)^2 - 570.1(0.075) + 2446.8$$

$$hfg_2 = 2408.7 \frac{kJ}{kg}$$

Para la entropía de evaporación sfg_2 se utiliza el polinomio sfg_1 .

$$sfg_2 = 0.0151(0.075)^7 + 0.2535(0.075)^6 - 1.7186(0.075)^5 + 6.0201(0.075)^4 - 11.6491(0.075)^3 + 12.4691(0.075)^2 - 7.4792(0.075) + 8.2131$$

$$sfg_2 = 7.7176 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Por lo tanto:

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sfg_2} = \frac{6.181 - 0.5624}{7.7176} = 0.728$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

$$h_2 = 164.06 + 0.728 (2408.7) = 1917.65 \frac{kJ}{kg}$$

La entalpía a la salida del condensador (h_3) es la entalpía a la presión del condensador.

$$h_3 = hf_2 = 164.06 \frac{kJ}{kg} \text{ y } hf_2 = h_4 \text{ despreciando el trabajo de la bomba. Por lo que:}$$

$$W_t = h_1 - h_2 \text{ y } Q = h_1 - h_4$$

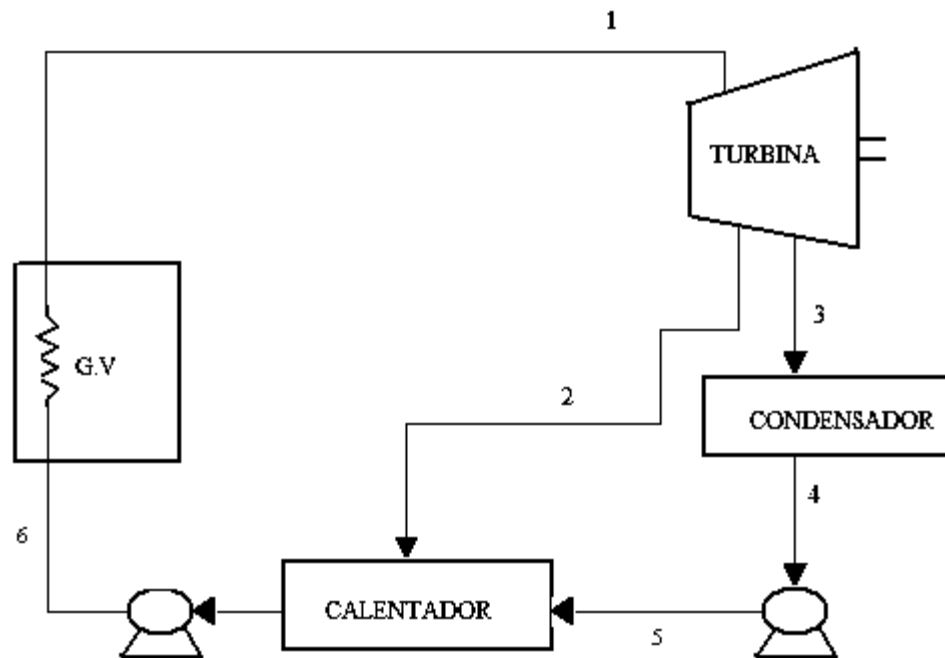
$$e = \frac{Wt}{Q} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - hf_2} = \frac{2801.1 - 1917.65}{2801.1 - 164.06} = \frac{883.45}{2637.04} = 0.335$$

$$e = 33.5\%$$

4.2 COMPARACIÓN DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA CON UN CICLO REGENERATIVO POR TABLAS DE VAPOR Y POLINOMIOS DE APROXIMACIÓN.

4.2.1 ANALISIS DE LA CENTRAL CON LAS TABLAS DE VAPOR

Calcular la eficiencia de una central termóelctrica con un calentador que tiene la siguiente información, el vapor que entra a la turbina a 40 bar y 320°C, el vapor auxiliar que suministra al calentador se extrae a una presión de operación del condensado es de 0.05 bar. Despreciar trabajo de las bombas.



Con $P_1=40$ bar y $T_1=320^\circ\text{C}$ obtenemos de las tablas de vapor sobrecalentado la entalpía $h_1=3012.4$ y la entropía de vapor saturado $s_1=6.4504$.

Como del punto uno al dos el paso del vapor por la turbina es un proceso isoentrópico

$$s_1=s_2 \quad \text{y} \quad s_2= sf_2 + x_2 sfg_2$$

despejamos la calidad (x_2) para encontrar la entalpía en la entalpía del vapor al salir de la turbina h_2 :

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sf g_2}$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

De las tablas de vapor de líquido saturado obtenemos los valores de hf_2 , sf_2 , sfg_2 y hfg_2 con una presión de 5 bar.

Por lo tanto:

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sf g_2} = \frac{6.4553 - 1.8607}{6.8212 - 1.8607} = \frac{4.5946}{4.9605} = 0.9262$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

$$h_2 = 640.23 + 0.9262 (2108.5) = 2593.1227 \frac{kJ}{kg}$$

Para encontrar la entalpía en el punto tres utilizamos las tablas de vapor de agua para encontrar los valores hf_3 , sf_3 , sg_3 y hfg_3 , con la presión $P_2=0.05$ bar como en la tabla no hay valores para esta presión interpolamos para encontrar estos valores:

P	hf_3	hfg_3	sf_3	sg_3
0.04	121.46	2432.9	0.4226	8.4746
0.06	151.53	2415.9	0.521	8.3304
0.02	30.07	-17	0.0984	-0.1442
0.01	15.035	-8.5	0.0492	-0.0721
0.05	136.495	2424.4	0.4718	8.4025

Sustituyendo los valores en la ecuación (4-1) tenemos:

$$X_3 = \frac{s_3 - sf_3}{sf g_3} = \frac{6.4553 - 0.4718}{7.9307} = 0.7544$$

$$h_3 = hf_3 + x_3 hfg_3$$

$$h_3 = 136.495 + 0.7544 (2424.4) = 1965.4623 \frac{kJ}{kg}$$

$$e = \frac{(h_1 - h_2) + \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right) (h_2 - h_3)}{h_1 - h_6}$$

Para tener el balance de masa de vapor en extracción se determina:

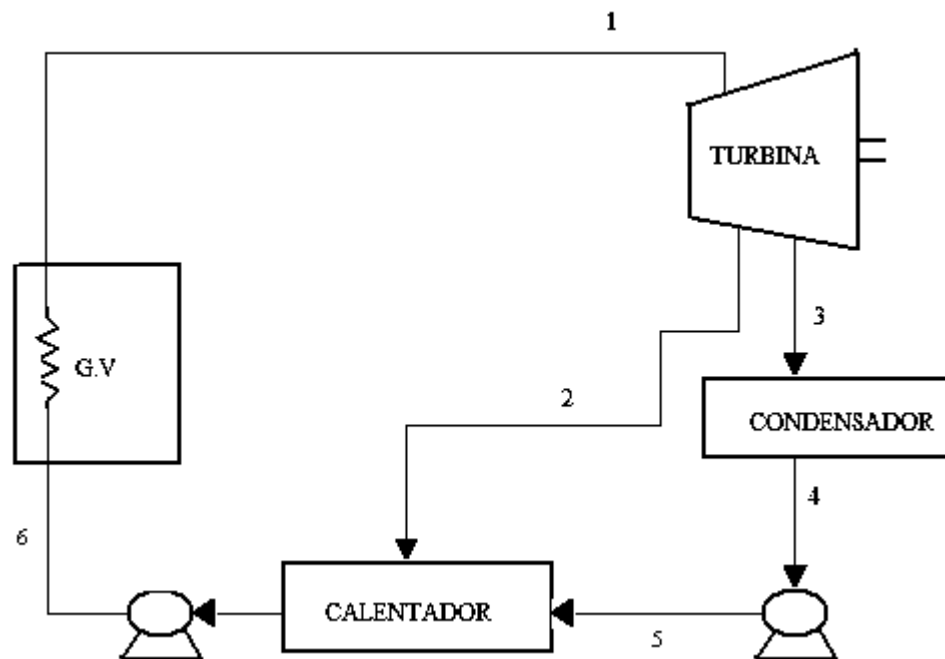
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{h_{f2} - h_{f3}}{h_2 - h_{f2}}$$

Sustituyendo valores obtenemos:

$$e = \frac{(3015.4 - 2593.1227) + (1 - 0.205)(2593.1227 - 1965.4623)}{3015.4 - 640.23} = 0.3878$$

4.2.2 ANALISIS DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA CON LOS POLINOMIOS DE APROXIMACIÓN CON CICLO REGENRATIVO.

Utilizando los datos del problema anterior calculamos la eficiencia con las entalpías obtenidas por los polinomios de aproximación.



Con $P_1=40$ bar y $T_1=320^\circ\text{C}$ obtenemos la entalpía y la entropía con los polinomios

$$h_{40} = 3.020 \cdot 10^{-6} t^3 - 0.005 t^2 + 5.0169 t + 1820$$

$$s_{40} = 7.1729 \cdot 10^{-9} t^3 - 1.3671 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0112 t + 4.0313$$

Sustituyendo la temperatura en estos polinomios obtenemos que $h_1 = 3012.4$ $s_1 = 6.4504$

Como del punto uno al dos el paso del vapor por la turbina es un proceso isoentrópico utilizamos la ecuación (4-1).

$$s_1 = s_2 \quad \text{y} \quad s_2 = s_{f2} + x_2 s_{fg2}$$

despejamos la calidad (x_2) para encontrar la entalpía en la entalpía del vapor al salir de la turbina h_2 :

$$h_2 = h_{f2} + x_2 h_{fg2}$$

Con los polinomios de vapor de líquido saturado h_{f2} , h_{fg2} , s_{f2} , s_{fg2} obtenemos los valores de h_{f2} , s_{f2} , s_{fg2} y h_{fg2} con una presión de 5 bar sustituyendo está en ellos.

$$h_{f2} = 3.0094 \times 10^{-8} p^5 - 1.6941 \times 10^{-5} p^4 + 0.0036 p^3 - 0.3804 p^2 + 24.0842 p + 546.391$$

$$h_{fg2} = -2.126 \cdot 10^{-10} p^6 + 1.0118 \cdot 10^{-7} p^5 - 1.4982 \cdot 10^{-5} p^4 + 2.3461 \cdot 10^{-4} p^3 + 0.124 p^2 - 16.2534 p + 2173.1$$

$$s_{f2} = 6.0309 \cdot 10^{-11} p^5 - 3.1504 \cdot 10^{-8} p^4 + 7.8142 \cdot 10^{-6} p^3 - 8.4144 \cdot 10^{-4} p^2 + 0.0518 p + 1.67$$

$$s_{fg2} = -1.1792 \cdot 10^{-10} p^5 + 6.7764 \cdot 10^{-8} p^4 - 1.4893 \cdot 10^{-5} p^3 + 0.0016 p^2 - 0.948 p + 5.3041$$

Por lo tanto:

$$x_2 = \frac{s_2 - s_{f2}}{s_{fg2}} = \frac{6.4504 - 1.9089}{4.8683} = \frac{4.5415}{4.8683} = 0.9328$$

$$h_2 = h_{f2} + x_2 h_{fg2}$$

$$h_2 = 657.74 + 0.9328 (2095) = 2612.1 \frac{kJ}{kg}$$

Para encontrar la entalpía en el punto tres utilizamos los polinomios de vapor de agua para encontrar los valores hf_3 , sf_3 , sg_3 y hfg_3 , con la presión $P_2=0.05$ bar sustituimos en los polinomios $hf1$, $hfg1$, $sf1$, $sfg1$.

$$\begin{aligned} hf1 &= 1.8129p^7 - 30.56p^6 + 207.801p^5 - 731.30p^4 + 1462.7p^3 - 1554.7p^2 + 995.7684p + 97.5371 \\ sf1 &= -0.0093p^6 + 0.138p^5 - 0.7935p^4 + 2.2457p^3 - 3.2977p^2 + 2.6265p + 0.3830 \\ sfg1 &= -0.0151p^7 + 0.2535p^6 - 1.7186p^5 + 6.0201p^4 - 11.6491p^3 + 12.4691p^2 - 7.4792p + 8.2131 \\ hfg1 &= -1.0129p^7 + 17.089p^6 - 116.286p^5 + 409.697p^4 - 800.5495p^3 + 874.8244p^2 - \\ & 570.1p + 2446.8 \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (4.1) tenemos:

$$X_3 = \frac{s_3 - sf_3}{sf_{g_3}} = \frac{6.4504 - 0.5064}{7.8689} = 0.7553$$

$$h_3 = hf_3 + x_3 hfg_3$$

$$h_3 = 143.6171 + 0.7553 (2420.4) = 1971.9 \frac{kJ}{kg}$$

$$e = \frac{(h_1 - h_2) + \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right)(h_2 - h_3)}{h_1 - h_6}$$

Para tener el balance de masa de vapor en extracción se determina:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{h_{f2} - h_{f3}}{h_2 - h_{f2}}$$

Sustituyendo valores obtenemos:

$$e = \frac{(3012.4 - 2612.1) + (1 - 0.2083)(2612.1 - 1971.9)}{3012.4 - 657.74} = 0.3853$$

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sfg_2}$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

De las tablas de vapor de líquido saturado obtenemos los valores de hf_2 , sf_2 , sfg_2 y hfg_2 con una presión de 10 bar.

Por lo tanto:

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sfg_2} = \frac{6.769 - 2.1387}{6.5863 - 2.1387} = \frac{4.6303}{4.4476} = 1.04$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

$$h_2 = 762.81 + 1.04 (2015.3) = 2858.722 \frac{kJ}{kg}$$

Para el punto tres; con $P_1=10$ bar y $T_1=400^\circ C$ obtenemos de las tablas de vapor sobrecalentado la entalpía $h_3=3263.9$ y la entropía de vapor saturado $s_3=7.4651$.

Como del punto tres al cuatro el paso del vapor por la turbina es un proceso isoentrópico utilizamos la ecuación (4-1).

$$s_3 = s_4 \quad \text{y} \quad s_4 = sf_4 + x_4 sfg_4$$

despejamos la calidad (x_4) para encontrar la entalpía en la entalpía del vapor al salir de la turbina h_4 :

De las tablas de vapor de líquido saturado obtenemos los valores de hf_4 , sf_4 , sfg_4 y hfg_4 con una presión de 0.075 bar.

Por lo tanto:

$$x_4 = \frac{s_4 - sf_4}{sfg_4} = \frac{7.4651 - 0.5747}{8.2544 - 0.5747} = \frac{6.1943}{7.6797} = 0.92$$

$$h_4 = hf_4 + x_4 hfg_4$$

$$h_4 = 168.29 + 0.92 (2406.3) = 2397.14 \frac{kJ}{kg}$$

Despreciando el trabajo de la bomba tenemos:

$$h_4 = h_6;$$

$$e = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(Q_1 + Q_2)}$$

Pero:

$$Q_1 = h_1 - h_6$$

Y

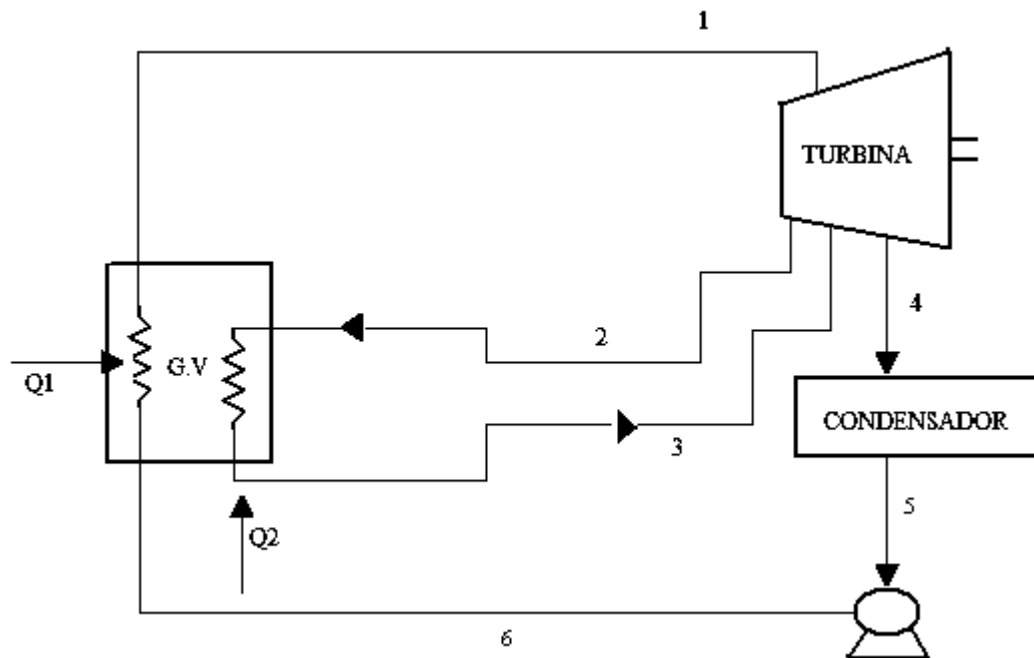
$$Q_2 = h_3 - h_2$$

Por lo tanto la eficiencia térmica para la central es de:

$$e = \frac{(3213.6 - 2858.72) + (3263.9 - 2397.14)}{(3213.6 - 168.29) + (3263.9 - 2858.72)} = 0.354$$

4.3.2 ANALISIS DE LA CENTRAL CON POLINOMIOS DE APROXIMACIÓN

Utilizando los datos del problema anterior calculamos la eficiencia con las entalpías obtenidas por los polinomios de aproximación.



Con $P_1=40$ bar y $T_1=400^\circ\text{C}$ obtenemos la entalpía y la entropía con los polinomios

$$h_{40} = 3.020 \cdot 10^{-6} t^3 - 0.005 t^2 + 5.0169 t + 1820$$

$$s_{40} = 7.1729 \cdot 10^{-9} t^3 - 1.3671 \cdot 10^{-5} t^2 + 0.0112 t + 4.0313$$

Sustituyendo la temperatura en estos polinomios obtenemos que $h_1=3220.2$ $s_1=6.783$

Como del punto uno al dos el paso del vapor por la turbina es un proceso isoentrópico utilizamos la ecuación (4.1).

$$s_1=s_2 \quad \text{y} \quad s_2 = sf_2 + x_2 sfg_2$$

despejamos la calidad (x_2) para encontrar la entalpía en la entalpía del vapor al salir de la turbina h_2 :

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sfg_2}$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

De los polinomios de vapor de líquido saturado hf_2 , sf_2 , sfg_2 , y hfg_2 obtenemos los valores de hf_2 , sf_2 , sfg_2 y hfg_2 con una presión de 10 bar sustituimos en estos.

$$hf_2 = 3.0094 \cdot 10^{-8} p^5 - 1.6941 \cdot 10^{-5} p^4 + 0.0036 p^3 - 0.3804 p^2 + 24.0842 p + 546.391$$

$$hfg_2 = -2.126 \cdot 10^{-10} p^6 + 1.0118 \cdot 10^{-7} p^5 - 1.4982 \cdot 10^{-5} p^4 + 2.3461 \cdot 10^{-4} p^3 + 0.124 p^2 - 16.2534 p + 2173.1$$

$$sf_2 = 6.0309 \cdot 10^{-11} p^5 - 3.1504 \cdot 10^{-8} p^4 + 7.8142 \cdot 10^{-6} p^3 - 8.4144 \cdot 10^{-4} p^2 + 0.0518 p + 1.67$$

$$sfg_2 = -1.1792 \cdot 10^{-10} p^5 + 6.7764 \cdot 10^{-8} p^4 - 1.4893 \cdot 10^{-5} p^3 + 0.0016 p^2 - 0.948 p + 5.3041$$

Por lo tanto:

$$x_2 = \frac{s_2 - sf_2}{sfg_2} = \frac{6.783 - 2.1114}{4.5019} = \frac{406716}{4.5019} = 1.03$$

$$h_2 = hf_2 + x_2 hfg_2$$

$$h_2 = 752.6266 + 1.03 (2023.1) = 2852 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para el punto tres; con $P_3=10$ bar y $T_3=400^\circ\text{C}$ obtenemos de los polinomios de vapor sobrecalentado:

$$h_{10} = 6.5526 \cdot 10^{-7} t^3 - 6.828 \cdot 10^{-4} t^2 + 2.3209 t + 2411.8$$

$$s_{10} = 4.8443 \cdot 10^{-9} t^3 - 8.5562 \cdot 10^{-6} t^2 + 0.0077 t + 5.4623$$

la entalpía $h_3=3272.8$ y la entropía de vapor saturado $s_3=7.4833$.

Como del punto tres al cuatro el paso del vapor por la turbina es un proceso isoentrópico utilizamos la ecuación (4-1).

$$s_3=s_4 \quad \text{y} \quad s_4 = s_{f4} + x_4 s_{fg4}$$

despejamos la calidad (x_4) para encontrar la entalpía en la entalpía del vapor al salir de la turbina h_4 :

De los polinomios de vapor de líquido saturado h_{f1} , s_{f1} , s_{fg1} y h_{fg1} obtenemos los valores de h_{f4} , s_{f4} , s_{fg4} y h_{fg4} con una presión de 0.075 bar.

$$h_{f1} = 1.8129p^7 - 30.56p^6 + 207.801p^5 - 731.30p^4 + 1462.7p^3 - 1554.7p^2 + 995.7684p + 97.5371$$

$$s_{f1} = -0.0093p^6 + 0.138p^5 - 0.7935p^4 + 2.2457p^3 - 3.2977p^2 + 2.6265p + 0.3830$$

$$s_{fg1} = -0.0151p^7 + 0.2535p^6 - 1.7186p^5 + 6.0201p^4 - 11.6491p^3 + 12.4691p^2 - 7.4792p + 8.2131$$

$$h_{fg1} = -1.0129p^7 + 17.089p^6 - 116.286p^5 + 409.697p^4 - 800.5495p^3 + 874.8244p^2 -$$

$$570.1p + 2446.8$$

Por lo tanto:

$$x_4 = \frac{s_4 - s_{f4}}{s_{fg4}} = \frac{7.4833 - 0.5624}{7.7176} = \frac{6.9209}{7.7176} = 0.8967$$

$$h_4 = h_{f4} + x_4 h_{fg4}$$

$$h_4 = 164.069 + 0.8967 (2408.6) = 2324.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Despreciando el trabajo de la bomba tenemos:

$$h_{f4} = h_6;$$

$$e = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(Q_1 + Q_2)}$$

Pero:

$$Q_1 = h_1 - h_6$$

Y

$$Q_2 = h_3 - h_2$$

Por lo tanto la eficiencia térmica para la central es de:

$$e = \frac{(3220.2 - 2852) + (3272.8 - 2324.1)}{(3220.2 - 164.069) + (3272.8 - 2852)} = 0.3588$$

4.4 CÓDIGO DEL PROGRAMA QUE RESUELVE LOS ANTERIORES ANALISIS DE LA CENTRAL TÉRMOELECTRICA BASADO EN LOS POLINOMIOS DE APRÓXIMACIÓN.

```
disp('                EL PROGRAMA DETERMINA LA EFICIENCIA DE UNA CENTRAL
TERMOELECTRICA')
n=input('Selecciona el Analisis a realizar--> 1.-VAPOR SECO      2.-CICLO
REGENERATIVO      3.-CICLO DE RECALENTAMIENTO      ');
h10=[6.5526e-007 -6.8280e-004 2.3209 2411.8];
s10=[4.8443e-009 -8.5562e-006 0.0077 5.4623];
h20=[-7.5887e-011 1.7718e-007 -1.5916e-004 0.0684 -11.7284 3430.6];
s20=[-1.6432e-013 3.8235e-010 -3.4099e-007 1.4256e-004 -0.0239
7.6116];
h30=[-1.1557e-010 2.6812e-007 -2.3875e-004 0.1011 -17.8109 3787.2];
s30=[7.0958e-014 -1.8657e-010 -1.957e-007 -1.0416e-004 -0.0314
2.5393];
s30=[-7.0014e-009 -1.2813e-005 0.0104 4.3812];
h40=[3.022e-006 -0.005 5.0169 1820];
s40=[7.1729e-009 -1.3671e-005 0.0112 4.0313];
h60=[4.9679e-006 -0.0086 7.1819 1358.2];
s60=[-1.0491e-008 -1.9691e-005 0.0148 3.0939];
h80=[6.7493e-006 -0.0119 9.2804 894.5042];
s80=[1.3296e-008 -2.4937e-005 0.0181 2.2521];
h100=[9.3836e-006 -0.0167 12.2808 256.5147];
s100=[1.7508e-008 -3.2696e-005 0.0229 1.1588];
hf1=[1.8129 -30.56 207.801 -731.30 1462.7 -1554.7 995.7684 97.5371];
hf2=[3.0094e-008 -1.6941e-005 0.0036 -0.3804 24.0842 546.3910];
hg1=[-1.2453 18.4212 -106.028 300.73 -444.099 357.84 2548.6];
hg2=[-2.383e-010 1.4845e-007 -3.625e-005 0.0044 -0.2846 8.4549 2716];
hfg1=[-1.0129 17.089 -116.286 409.697 -800.5495 874.8244 -570.1
2446.8];
```

```

    hfg2=[-2.126e-010 1.0118e-007 -1.4982e-005 2.3461e-004 0.124 -16.2534
2173.1];
    sf1=[-0.0093 0.138 -0.7935 2.2457 -3.2977 2.6265 0.3830];
    sf2=[6.0309e-011 -3.1504e-008 7.8142e-006 -8.4144e-004 0.0518 1.67];
    sg1=[-0.009 0.1518 -1.0283 3.5966 -6.9414 7.387 -4.3394 8.5643];
    sg2=[-5.7616e-011 3.266e-008 -7.0784e-006 7.3326e-004 -0.0429 6.9741];
    sfg1=[-0.0151 0.2535 -1.7186 6.0201 -11.6491 12.4691 -7.4792 8.2131];
    sfg2=[-1.1792e-010 6.7764e-008 -1.4893e-005 0.0016 -0.0948 5.3041];
if n==1

p1=input('Dame la presion a la salida del generador de vapor ');
if p1<=5;
    h1=polyval(hg1,p1)
    s1=polyval(sg1,p1)
else
    h1=polyval(hg2,p1)
    s1=polyval(sg2,p1)
end
p2=input('Dame la presion a la salida de la turbina: ');
if p2<=4.5;
    hf=polyval(hf1,p2)
    hfg=polyval(hfg1,p2)
    sf=polyval(sf1,p2)
    sfg=polyval(sfg1,p2)
else
    hf=polyval(hf2,p2)
    hfg=polyval(hfg2,p2)
    sf=polyval(sf2,p2)
    sfg=polyval(sfg2,p2)
end
s2=s1;
x2=(s2-sf)/sfg;
h2=hf+(x2*hfg)
h3=hf;
h4=h3;
wt=h1-h2
Q=h1-h4
e=wt/Q
end
if n==2

    p1=input('Dame la presion a la salida del generador de vapor: ');
    t1=input('Dame la temperatura a la salida del generador de vapor: ');
    ');
    if p1==20
        h1=polyval(h20,t1)
        s1=polyval(s20,t1)
    end

    if p1==30
        h1=polyval(h30,t1)
        s1=polyval(s30,t1)
    end

    if p1==40
        h1=polyval(h40,t1)
        s1=polyval(s40,t1)
    end
end

```

```

end

if p1==60
    h1=polyval(h60,t1)
    s1=polyval(s60,t1)
end

if p1==80
    h1=polyval(h80,t1)
    s1=polyval(s80,t1)
end

if p1==100
    h1=polyval(h100,t1)
    s1=polyval(s100,t1)
end
p2=input('Dame la presión del vapor auxiliar que suministra al
calentador: ');
if p2<=4.5;
    hfdos=polyval(hf1,p2)
    hfgdos=polyval(hfg1,p2)
    sfdos=polyval(sf1,p2)
    sfgdos=polyval(sfg1,p2)
else
    hfdos=polyval(hf2,p2)
    hfgdos=polyval(hfg2,p2)
    sfdos=polyval(sf2,p2)
    sfgdos=polyval(sfg2,p2)
end
p3=input('Dame la presión de operación del condensador: ');
if p3<=4.5;
    hftres=polyval(hf1,p3)
    hfgtres=polyval(hfg1,p3)
    sftres=polyval(sf1,p3)
    sfgtres=polyval(sfg1,p3)
else
    hftres=polyval(hf2,p3)
    hfgtres=polyval(hfg2,p3)
    sftres=polyval(sf2,p3)
    sfgtres=polyval(sfg2,p3)
end
s2=s1;
x2=(s2-sfdos)/sfgdos;
h2=hfdos+(x2*hfgdos)
s3=s1;
x3=(s3-sftres)/sfgtres;
h3=hftres+(x3*hfgtres)
m2m1=(hfdos-hftres)/(h2-hftres)
h4=hfdos;
wt=(h1-h2)+((1-m2m1)*(h2-h3))
Q=h1-h4
e=wt/Q
end
if n==3

p1=input('Dame la presión a la salida del generador de vapor: ');

```



```

t1=input('Dame la temperatura a la salida del generador de vapor:
');
if p1==20
    h1=polyval(h20,t1)
    s1=polyval(s20,t1)
end

if p1==30
    h1=polyval(h30,t1)
    s1=polyval(s30,t1)
end

if p1==40
    h1=polyval(h40,t1)
    s1=polyval(s40,t1)
end

if p1==60
    h1=polyval(h60,t1)
    s1=polyval(s60,t1)
end

if p1==80
    h1=polyval(h80,t1)
    s1=polyval(s80,t1)
end

if p1==100
    h1=polyval(h100,t1)
    s1=polyval(s100,t1)
end

p2=input('Dame la presión de la etapa de recalentamiento: ');
if p2<=4.5;
    hfdos=polyval(hf1,p2)
    hfgdos=polyval(hfg1,p2)
    sfdos=polyval(sf1,p2)
    sfgdos=polyval(sfg1,p2)
else
    hfdos=polyval(hf2,p2)
    hfgdos=polyval(hfg2,p2)
    sfdos=polyval(sf2,p2)
    sfgdos=polyval(sfg2,p2)
end
p3=input('Dame la presión de la etapa de recalentamiento al salir
del generador de vapor: ');
t3=input('Dame la temperatura de la etapa de recalentamiento:
');
if p3==20
    h3=polyval(h20,t3)
    s3=polyval(s20,t3)
end
if p3==10
    h3=polyval(h10,t3)
    s3=polyval(s10,t3)
end
p4=input('Dame la presión de operación del condensador: ');

```

```

if p4<=4.5;
    hfcuatro=polyval(hf1,p4)
    hfgcuatro=polyval(hfg1,p4)
    sfcuatro=polyval(sf1,p4)
    sfgcuatro=polyval(sfg1,p4)
else
    hfcuatro=polyval(hf2,p4)
    hfgcuatro=polyval(hfg2,p4)
    sfcuatro=polyval(sf2,p4)
    sfgcuatro=polyval(sfg2,p4)
end
s2=s1;
x2=(s2-sfdos)/sfgdos;
h2=hfdos+(x2*hfgdos)
s4=s3;
x4=(s4-sfcuatro)/sfgcuatro;
h4=hfcuatro+(x4*hfgcuatro)
h6=hfcuatro;
wt=(h1-h2)+(h3-h4)
Q=(h1-h6)+(h3-h2)
e=wt/Q
end

```

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones.

5.1 CONCLUSIONES

Las centrales termoeléctricas producen actualmente la mayor parte de la energía eléctrica que se consume en el mundo. En el análisis de la central termoeléctrica se encuentran diferentes ciclos termodinámicos, para este caso utilizamos para el análisis el ciclo Rankine que es el más básico que alcanza eficiencias aproximadamente hasta treinta y cinco por ciento. Pequeñas mejoras en la eficiencia pueden ahorrar significativas cantidades de combustible. Entre mayor sea la temperatura que alcance a elevar el generador de vapor mayor será la eficiencia por lo tanto si aumentamos la presión en el mismo automáticamente se eleva la temperatura a la cual tiene lugar la ebullición. Otra forma de aumentar la eficiencia es por medio de disminuir la entalpía a la salida de la turbina, esto se logra a disminuyendo la presión de operación del condensador, sin embargo una disminución de presión provoca un aumento de humedad en la turbina y un aumento excesivo de humedad origina erosión en los álabes de la misma lo que provoca una disminución en la eficiencia en la turbina, por lo que se debe establecer una presión de operación del condensador no considerable.

El estudio de la teoría de aproximación de funciones comprende dos tipos generales de problemas. Uno se presenta cuando una función se da de manera explícita, pero se quiere encontrar un tipo más simple de ella, por ejemplo un polinomio, que nos sirva para determinar los valores aproximados de una función dada. Otro problema de la teoría se refiere a la búsqueda de la función óptima que podamos emplear para representar un conjunto de datos, que es el caso que se utilizó para esta investigación que en el cual partiendo de los datos de las tablas de vapor de agua en el que se obtienen las entalpías y entropías, se encontraron funciones de polinomios para representar el mismo conjunto de datos, en los cuales con estos polinomios se pueden obtener valores aproximados que no se encuentren en estas tablas sustituyendo el valor de la presión en el cual deseemos encontrar las entalpías o entropías por lo que no se ocupa interpolar cuando en algún análisis de Centrales Termoeléctricas.

Para encontrar estos polinomios se utilizó una función llamada polyfit del programa Matlab en el cual insertando los datos de las tablas y grado en el cuál queremos el polinomio muestra los coeficientes de este, y para encontrar el polinomio más adecuado se hizo un ajuste pero el método numérico de los Mínimos Cuadrados. En el transcurso de la investigación se observó que al hacer el ajuste los polinomios más cercanos al los de la curva real eran los de grados cinco, seis y siete y que fueron los utilizados para el análisis de la Central Termoeléctrica.

Así mismo se pudo comprobar que aplicando los polinomios de aproximación para entalpías y entropías de líquido saturado, vapor húmedo, vapor seco y vapor sobrecalentado, puede ser una alternativa eficiente y rápida en la solución de una central termoeléctrica, es decir, el cálculo de la eficiencia termodinámica del sistema, por medio del cálculo del trabajo desarrollado por la turbina y calor que se le proporciona al generador de vapor

5.2 RECOMENDACIONES

Se comprueba la importancia de la materia de Métodos Numéricos en la solución de problemas más avanzados como los que se tienen en ésta tesis. Finalmente, el enfoque de esta tesis pudiera aplicarse a sistemas tales como máquinas eléctricas considerando un polinomio de aproximación de la saturación magnética

APENDICES

Propiedades del agua saturada, tabla de Presión

Presión Bares	Entalpía Liq. Sat h_f	Entalpía Vap. Sat h_g	Entalpía Evap. h_{fg}	Entropía Liq. Sat. s_f	Entropía Vap. Sat. s_g	Entropía Evap. s_{fg}
0.04	121.46	2554.4	2432.9	.4226	8.4746	8.052
0.06	151.53	2567.4	2415.9	.5210	8.3304	7.8094
0.08	173.88	2577	2403.1	.5926	8.2287	7.6361
0.10	191.83	2584.7	2392.8	.6493	8.1502	7.5009
0.20	251.40	2609.7	2358.3	.8320	7.9085	7.0765
0.30	289.23	2625.3	2336.1	.9439	7.7686	6.8247
0.40	317.58	2636.8	2319.2	1.0259	7.6700	6.6441
0.50	340.49	2645.9	2305.4	1.0910	7.5939	6.5029
0.60	359.86	2653.5	2293.6	1.1453	7.5320	6.3867
0.70	376.70	2660.0	2283.3	1.1919	7.4797	6.2878
0.80	391.66	2665.8	2274.1	1.2329	7.4346	6.2017
0.90	405.15	2670.9	2265.7	1.2695	7.3949	6.1254
1.00	417.46	2675.5	2258.0	1.3026	7.3594	6.0568
1.50	467.11	2693.6	2226.5	1.4336	7.2233	5.7897
2.00	504.7	2706.7	2201.9	1.5301	7.1271	5.597
2.50	535.37	2716.9	2181.5	1.6072	7.0527	5.4455
3.00	561.47	2725.3	2163.8	1.6718	6.9919	5.3201
3.50	584.33	2732.4	2148.1	1.7275	6.9405	5.213
4.00	604.74	2738.6	2133.8	1.7766	6.8959	5.1193
4.50	623.25	2743.9	2120.7	1.8207	6.8565	5.0358
5.00	640.23	2748.7	2108.5	1.8607	6.8212	4.9605
6.00	670.56	2756.8	2086.3	1.9312	6.7600	4.8288
7.00	697.22	2763.5	2066.3	1.9922	6.7080	4.7158
8.00	721.11	2769.1	2048.0	2.0462	6.6628	4.6166
9.00	742.83	2773.9	2031.1	2.0946	6.6226	4.528
10.0	762.81	2778.1	2015.3	2.1387	6.5863	4.4476
15.0	844.84	2792.2	1947.3	2.3150	6.4448	4.1298
20.0	908.79	2799.5	1890.7	2.4474	6.3409	3.8935
25.0	962.11	2803.1	1841.0	2.5547	6.2575	3.7028
30.0	1008.4	2804.2	1795.7	2.6457	6.1869	3.5412
35.0	1049.8	2803.4	1753.7	2.7253	6.1253	3.4
40.0	1087.3	2801.4	1714.1	2.7964	6.0701	3.2737
45.0	1121.9	2798.3	1676.4	2.8610	6.0199	3.1589
50.0	1154.2	2794.3	1640.1	2.9202	5.9734	3.0532
60.0	1213.4	2784.3	1571.0	3.0267	5.8892	2.8625
70.0	1267	2772.1	1505.1	3.1211	5.8133	2.6922
80.0	1316.6	2758	1441.3	3.2068	5.7432	2.5364
90.0	1363.3	2742.1	1378.9	3.2858	5.6772	2.3914
100	1407.6	2724.7	1317.1	3.3596	5.6141	2.2545

110	1450.1	2705.6	1255.5	3.4295	5.5527	2.1232
120	1491.3	2684.9	1193.6	3.4962	5.4924	1.9962
130	1531.5	2662.2	1130.7	3.5606	5.4323	1.8717
140	1571.1	2637.6	1066.5	3.6232	5.3717	1.7485
150	1610.5	2610.5	1000.0	3.6848	5.3098	1.625
160	1650.1	2580.6	930.6	3.7461	5.2455	1.4994
170	1690.3	2547.2	856.9	3.8079	5.1777	1.3698
180	1732	2509.1	777.1	3.8715	5.1044	1.2329
190	1776.5	2464.5	688.0	3.9388	5.0228	1.084
200	1826.3	2409.7	583.4	4.0139	4.9269	0.913
220.9	2099.3	2099.3	0	4.4298	4.4298	0

Propiedades del agua: Tablas de vapor sobrecalentado

Temperatura °C	20.0 Bares Tsat=212.42°C		30.0 Bares Tsat=233.90°C	
	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
Sat.	2799.5	6.3409	2804.2	6.1869
240	2876.5	6.4952	2824.3	6.2265
280	2976.4	6.6828	2941.3	6.4462
320	3069.5	6.8452	3043.4	6.6245
360	3159.3	6.9917	3138.7	6.7801
400	3247.6	7.1271	3230.9	6.9212
440	3335.5	7.2540	3321.5	7.0520
500	3467.6	7.4317	3456.5	7.2338
540	3556.1	7.5434	3546.6	7.3474
600	3690.1	7.7024	3682.3	7.5085
640	3780.4	7.8035	3773.5	7.6106
700	3917.4	7.9487	3911.7	7.7571

Temperatura °C	40.0 Bares Tsat=250.40°C		30.0 Bares Tsat=275.64°C	
	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
Sat.	2801.4	6.0701	2784.3	5.8892
280	2901.8	6.2568	2804.2	5.9252
320	3015.4	6.4553	2952.6	6.1846
360	3117.2	6.6215	3071.1	6.3782
400	3213.7	6.7690	3177.2	6.5408
440	3307.1	6.9041	3277.3	6.6853
500	3445.3	7.0901	3422.2	6.8803
540	3536.9	7.2056	3517.0	6.9999
600	3674.4	7.3688	3658.4	7.1677
640	3766.6	7.4720	3752.6	7.2731
700	3905.9	7.6198	3894.1	7.4234
740	3999.6	7.7141	3989.2	7.5190

Temperatura °C	80.0 Bares Tsat=295.06°C		100.0 Bares Tsat=311.06°C	
	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
Sat.	2758.0	5.7432	2724.7	5.6141
320	2877.2	5.9489	2781.3	5.7103
360	3019.8	6.1819	2962.1	6.0060
400	3138.3	6.3634	3096.5	6.2120
440	3246.1	6.5190	3213.2	6.3805
480	3348.4	6.6586	3321.4	6.5282
520	3447.7	6.7871	3425.1	6.6622
560	3545.3	6.9072	3526.0	6.7864
600	3642.0	7.0206	3625.3	6.9029
640	3738.3	7.1283	3723.7	7.0131
700	3882.4	7.2812	3870.5	7.1687
740	3978.7	7.3782	3968.1	7.2670

Bibliografía

1. FUTURO DE CICLOS TERMODINÁMICOS: Estrategias para un suministro sostenible de energía eléctrica
Manuel Valdéz
2. NOTAS DE CENTRALES ELÉCTRICAS
Dr. Gilberto González Avalos
3. NOTAS DE MÉTODOS NÚMERICOS
Dr. Antonio Ramos Paz
4. MÉTODOS NÚMERICOS PARA INGENIEROS
Steven Chapra
Mc Graw Hill
5. http://es.wikipedia.org/wiki/Central_termoel%C3%A9ctrica
6. http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_08/cic-vapor.htm