



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**Modificación al Método ASTM D-1660 Empleado para la
Determinación de la Estabilidad Térmica de Turbosinas**

TESIS PROFESIONAL

CESAR URIBE UGALDE

México, D. F.

1968



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**Modificación al Método ASTM D-1660 Empleado para la
Determinación de la Estabilidad Térmica de Turbosinas**

C E S A R U R I B E U G A L D E

I N G E N I E R I A Q U I M I C A

1 9 6 8

	PRESIDENTE	I.Q. Raúl Mayer S.
	VOCAL	I.Q. Pablo Barrcata G.
JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE	SECRETARIO	I.Q. Gerardo Bazán N.
	1er. SUPLENTE	I.Q. Enrique Jiménez R.
	2do. SUPLENTE	I.Q. Carlos H. Mana Brito F.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: Instituto Mexicano del Petróleo.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE: César Uribe Ugaldé

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA: I.Q. Gerardo Bazán N.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUPERVISOR TECNICO: I.Q. Arturo García del B.

A MIS PADRES

**A todas aquellas personas que
contribuyeron al logro de mi
formación profesional.**

C O N T E N I D O

1. INTRODUCCION
2. ANTECEDENTES
3. DESCRIPCION DEL EQUIPO
4. ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS
5. RESULTADOS
6. CONCLUSIONES
7. BIBLIOGRAFIA .

I N T R O D U C C I O N

La estabilidad térmica de los combustibles es uno de los mayores problemas para el programa de desarrollo de aviones cada vez más veloces.

Un avión volando a través de la atmósfera desarrolla calor. A velocidades inferiores a la velocidad del sonido, el calor puede ser disipado en la atmósfera enfriando la máquina por medio de aire; pero a velocidades supersónicas, el calor se genera tan rápidamente que el aire no puede absorberlo. La solución al problema podría ser el empleo de sistemas especiales de refrigeración, pero estos adicionarían peso y volumen al avión; consecuentemente el combustible es el medio más lógico para disipar este calor. Esto significa que el combustible, al enfriar el aceite lubricante de la máquina, se calentará a temperaturas relativamente altas, y a esas temperaturas, los combustibles forman goma insoluble o depósitos de carbón que perjudican seriamente al sistema de intercambio de calor y de inyección de combustible.

Las temperaturas a las cuales pueden estar sometidas las turbinas son las siguientes:

No. de Mach	Cambiador de tubos	Quemador
0.8	300° F	400° F
2.0	400° F	500° F
3.0	500° F	600° F

Los aviones que se planean para un futuro próximo, operarán a un No. de Mach de 3 a 4, a estas velocidades se hará necesario un combustible estable hasta 800° F.

La estabilidad térmica de la turbosina es función de:

- a).- Su constitución en hidrocarburos.
- b).- Los contaminantes presentes en este corte: derivados sulfurados, oxigenados y nitrogenados.
- c).- La presencia de metales.

Los estudios realizados sobre estabilidad térmica, muestran que aunque los hidrocarburos desempeñan un papel importante, principalmente los etilénicos, este es secundario en comparación con el desempeño por los contaminantes tales como mercaptanos, disulfuros, hidroperóxidos y nitrógeno pirrólico. Asimismo, huellas de cobre conducen a inestabilidad térmica.

La Refinería "18 de Marzo", cuenta con una planta para el tratamiento de turbosina, que es el combustible empleado en los aviones a turbo propulsión.

El tratamiento consiste en pasar la turbosina a través de un separador de agua, una torre con cloruro cúprico para eliminar compuestos de azufre, un tanque de lavado con sulfuro de so-

dio que remueve al cobre proveniente de la etapa anterior, un tanque de lavado con agua para eliminar el sulfuro de sodio residual, un segundo separador de agua, un secador de bauxita, un tratador con clareolita y finalmente un filtro para atrapar el adsorbente que arrastra la turbosina en la etapa anterior. El tratamiento con clareolita mejora notablemente la estabilidad térmica del combustible mencionado, sin embargo no existe un control en cuanto al momento en que el adsorbente se ha agotado, ya que la estabilidad térmica de la turbosina se determina en muestras de los tanques de almacenamiento y no a la salida de la planta. La prueba de estabilidad térmica que es definitiva para el control de la calidad de la turbosina, debe realizarse de acuerdo con el método ASTM D-1660, el cual indica el empleo del aparato denominado Fuel Coker, que requiere 5 horas de operación, ya que este método consiste en determinar la caída de presión a través de un filtro y el depósito en el tubo del precalentador, producidos por una turbosina durante 300 minutos de operación del Fuel Coker. El tiempo de operación de este equipo es demasiado grande para aprovechar el método tal cual con fines de control de proceso.

En consecuencia, el presente trabajo, está encaminado a establecer un método rápido para determinar la estabilidad térmica y aplicarlo como control del proceso de tratamiento.

ANTECEDENTES

Como se vió en el capítulo anterior, Petróleos Mexicanos requiere un método rápido para determinar la estabilidad térmica de turbosina en la planta de tratamiento de la Refinería "18 de Marzo".

Como un primer intento fueron estudiadas las condiciones de operación de dicha planta para tratar de correlacionar las variaciones que pudieran tener esas condiciones con la estabilidad térmica del combustible mencionado. Se encontró que las condiciones de operación permanecen prácticamente constantes y sin embargo la estabilidad térmica varía. No obstante, se vió que lo más conveniente es cambiar 2,5 Ton. de adsorbente, que es la capacidad del tratador, cuando se han percolado aproximadamente 100 m³ de turbosina a razón de 600 - 650 m³/día.

Este sistema de control es incierto ya que se tienen aún variaciones en la estabilidad térmica del producto.

Como segunda tentativa se pensó en una prueba que no durara más de media hora para proporcionar información. Se seleccionó el método ASTM D-1500

Este método describe un procedimiento para la determinación visual del color de una amplia variedad de productos de petróleo, tales como aceites lubricantes, aceites de calentamiento, diesel y ceras de petróleo. Para aplicarlo, se llevaron 100 ml. de turbosina a un volumen de 10 ml. con el fin de tener en dicho volumen los compuestos menos volátiles que pudieran ser los responsables de una mala estabilidad térmica. Esto se logró mediante una destilación en el aparato correspondiente al método ASTM D-86. Al residuo de esta destilación se le determinó el color empleando un colorímetro ASTM Fisher.

Los resultados obtenidos en la medición de color y de estabilidad térmica en 17 muestras se encuentran en la tabla I.

T A B L A 1

Designación de la muestra	Color ASTM	p (pulg.Hg)	Tiempo (minutos)
Turbosina T-111A	1.5	0.15	300
" T-200A	2.0	0.20	300
" T-126A	2.0	0.30	300
" T-111A	1.5	0.60	300
" T-200A	3.0	0.50	300
" T-126A	3.0	0.70	300
" T-111A	2.0	0.50	300
Turbosina oficial			
T-126A	3.0	0.30	300
Turbosina oficial			
T-111A	3.0	1.00	300
Turbosina T-200A	2.5	6.90	300
Turbosina oficial			
T-200A	2.0	2.20	300
Turbosina T-111A	2.5	4.30	300
" T-200A	2.5	0.90	300
" T-200A	3.0	0.30	300
" T-200A	3.0	0.25	300
" planta			
tratamiento T-126A	1.0	0.55	300
Turbosina T-111A	3.5	0.50	300

Estos valores fueron procesados estadísticamente en el Centro de Cálculo del I.M.P., con el fin de saber si existe correlación entre el color ASTM y la caída de presión.

Se probaron 2 modelos de regresión, uno lineal y otro exponencial con los siguientes resultados:

ECUACION LINEAL

$N = 17$ (número de observaciones)

X media = 2.412

Y media = 1.185

Coefficiente de correlación $R = 0.032$

Variancia del estimador de Y $S^2(y_e) = 3.302$

Variancia del coeficiente de regresión b $S^2(b) = 0.434$

Variancia de Y media $S^2(Y_m) = 0.194$

Desviación estandar del coeficiente de regresión $S(b) = 0.658$

Desviación estandar de Y media $S(Y_m) = 0.441$

Modelo: $Y = a + bx$

en donde Y = caída de presión estimada

x = color

a = término independiente

= 0,986

b = coeficientes de regresión

= 0,082

X(Dato)	Y(Dato)	Y(Estimada)	Residuo ($Y_D - Y_E$)
1.5	0.15	1.11	-0.96
2.0	0.20	1.15	-0.95
2.0	0.30	1.15	-0.85
1.5	0.60	1.11	-0.51
3.0	0.50	1.23	-0.73
3.0	0.70	1.23	-0.53
2.0	0.50	1.15	-0.65
3.0	0.30	1.23	-0.93
3.0	1.00	1.23	-0.23
2.5	6.90	1.19	5.70
2.0	2.20	1.15	1.05
2.5	4.30	1.19	3.11
2.5	0.90	1.19	-0.29
3.0	0.30	1.23	-0.93
3.0	0.25	1.23	-0.98
1.0	0.55	1.07	-0.52
3.5	0.50	1.28	-0.78

ANALISIS DE VARIANCIA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Estimador
Línea de mínimos cuadrados	0,052	1	0,052
Variación residual de la línea	51,112	15	3,407
Total	51,164	16	

$$F(\text{calculado}) = 0,015$$

$$F(\text{tabla}) = 4,54 \text{ a } 95 \%$$

$$t(\text{calculado}) = 0,123$$

$$t(\text{tabla}) = 2,145 \text{ a } 95 \%$$

ECUACION EXPONENCIAL

$$N = 17 \text{ (número de observaciones)}$$

$$X \text{ media} = 0,834$$

$$Y \text{ media} = -0,469$$

$$\text{Coeficiente de correlación } R = 0,110$$

$$\text{Variancia del estimador de } Y \text{ } S^2(Y_e) = 1,032$$

$$\text{Variancia del coeficiente de regresión } S^2(b) = 0,587$$

$$\text{Variancia de } Y_{\text{media}} \text{ } S^2(Y_m) = 0,061$$

Desviación es
tandar del --
coeficiente -
de regresión
S (b) = 0.766

Desviación es
tandar de Y
media S (Ym) = 0.246

Modelo: $Y = ax^b$
en donde Y = caída de presión estimada
x = color
a = término independiente
= 0.468
b = coeficiente de regresión
= 0.348

X (Dato)	Y (Dato)	Y (Estimada)	Residuo ($Y_D - Y_E$)
1.5	0.15	0.54	-0.39
2.0	0.20	0.60	-0.40
2.0	0.30	0.60	-0.30
1.5	0.60	0.54	0.06
3.0	0.50	0.69	-0.19
3.0	0.70	0.69	0.01
2.0	0.50	0.60	-0.10
3.0	0.30	0.69	-0.39
3.0	1.00	0.69	0.31
2.5	6.90	0.64	6.26

2.0	2.20	0.60	1.60
2.5	4.30	0.64	3.66
2.5	0.90	0.64	0.26
3.0	0.30	0.69	-0.39
3.0	0.25	0.69	-0.44
1.0	0.55	0.47	0.08
3.5	0.50	0.72	-0.22

ANALISIS DE VARIANCIA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Estimador
Línea de mínimos - cuadrados	0.212	1	0.212
Variación residual de la línea	17.183	15	1.146
Total	17.395	16	

F (calculado) = 0.185

F (tabla) = 4.54 a 95 %

t (calculado) = 0.431

t (tabla) = 2.145 a 95 %

Al comparar los valores de F y t calculados para ambos modelos con los hallados en tablas a un nivel de 95% se ve que no hay significancia y consecuentemente no pueden emplearse dichos modelos con fines de predicción.

En vista de lo anterior se procedió al estudio matemático de las gráficas de estabilidad térmica que se obtienen al aplicar el método ASTM D-1660 por lo que en el siguiente capítulo se da la descripción del equipo así como un resumen del método.

DESCRIPCION DEL EQUIPO

En el Instituto Mexicano del Petróleo se cuenta con una unidad semiautomática Modelo 02 FC*, la cual consiste esencialmente de un sistema de flujo de combustible con dos secciones calentadas (el tubo del precalentador y el filtro metálico de acero --inoxidable poroso, también calentado), junto con el equipo asociado para controlar y medir temperatura, presión y velocidad de flujo.

DESCRIPCION GENERAL

Sección de prueba.

La sección de prueba incluye el aditamento del precalentador de combustible, el soporte calentado del filtro e instalaciones de termopares para medir la temperatura en esos puntos. -- También cuenta con tomas de presión para medir la presión diferencial a través del filtro de prueba.

a).- Precalentador.- La unidad del precalentador consiste de un tubo exterior, un tubo interior, cuerpos extremos de entrada y salida de combustible, un elemento de calentamiento tipo cartucho y un termopar situado en el cuerpo de salida. Los dos tubos se encuentran montados entre los cuerpos de entrada y salida y se mantienen concéntricos por medio de un empaque de Teflón en el cuerpo de entrada y un conector metálico en el cuerpo de sa

* Semejante a las 2 unidades de la Refinería "18 de Marzo".

lida. El tubo interno contiene un tipo postobscuro para el alumbrado de calentamiento. El calentador que se inserta en el tubo interior se usa para calentar el combustible conforma agua para entrar los dos tubos concéntricos. La entrada de corriente es controlada automáticamente por un autotransformador variable.

b). - Malla del filtro. - La unidad calentada del filtro consiste de una sección de acero inoxidable y 4 clavijas. Las clavijas se insertan en los calentadores eléctricos. La temperatura del cuerpo metálico que rodea al filtro de proceso es detectada mediante un termopar colocado cerca del filtro y el medido por medio de un indicador de temperatura sobre el gabinete frontal. La regulación de los calentadores del filtro se hace a través mediante un autotransformador variable conectado sobre el gabinete frontal. Esta regulación es automática.

Sistema de control.

El sistema de control consiste de tres dispositivos principales que se describen a continuación. Los dispositivos de control de flujo de gas, de control de temperatura y de control de nivel de agua.

1. - Control de flujo de gas. - El control de flujo de gas se consigue mediante la acción del control de flujo de gas en el controlador de flujo de gas. El control de flujo de gas se consigue mediante un regulador de presión a vapor controlado por

combustible hacia el recipiente que alimenta a la bomba. Este regulador tiene una línea para drenarlo hacia un recipiente de combustible de desecho.

b).- Rotámetro.- De la descarga de la bomba, el combustible con la presión regulada pasa a través de un rotámetro que está calibrado en libras por hora y puede indicar velocidades de flujo hasta 8 lb hr. El rotámetro debe ser calibrado para cada combustible probado.

c).- Sección de combustible caliente.- El combustible llega al cuerpo de entrada del precalentador y pasa entre los tubos de aluminio externo e interno donde se calienta a la temperatura requerida por medio del calentador eléctrico insertado en el tubo interno. Dejando el cuerpo de salida del precalentador, el combustible entra a la sección calentada del filtro. El cuerpo de salida del precalentador contiene un termopar y una toma de presión. La temperatura del combustible en el precalentador se mide en ese punto y se marca mediante un indicador de temperatura montado en el frente del gabinete. Las tomas de presión antes y después de la sección del filtro se conectan al manómetro de mercurio montado en el frente del gabinete. Este manómetro indica la caída de presión en el filtro.

d).- Interruptores de seguridad.- Los interruptores para los límites alto y bajo de presión de combustible están conectados a la toma de presión del manómetro y están ajustados para desconectar el aparato cuando la presión excede 160 psi o cae abajo de 140 psi.

e).- Enfriador y válvula reguladora.- Después de pasar a través de la sección caliente de prueba, el combustible es enfriado en un enfriador de agua hasta la temperatura ambiente antes de que pase a través de la válvula de aguja reguladora de flujo. Esta se encuentra localizada en el frente del gabinete debajo del rotámetro. Después de pasar a través de la válvula de aguja, el combustible se descarga al recipiente de combustible de desecho. Este recipiente se pesa antes y después de la prueba para determinar la cantidad de combustible realmente usada.

Todas las partes por donde fluye el combustible son de aluminio, excepto la mufa y el filtro que son de acero inoxidable.

Sistemas eléctrico y de ventilación.

a).- Sistema eléctrico.- La unidad se conecta a la fuente de corriente de 115 V 60 ciclos, para dar energía al motor de la bomba, a los autotransformadores variables de los circuitos de calentamiento del precalentador y de la mufa del filtro, el ventilador y el circuito de relevadores de los Interruptores de seguridad. Fusibles de 15 amperes protegen los circuitos de calentamiento, de 4 amperes al circuito del motor y de un ampere al circuito del ventilador. Estos se localizan en la esquina inferior del lado izquierdo del gabinete de control.

b).- Sistema de ventilación.- Un ventilador se encuentra en la porción interior superior del gabinete sobre la sección caliente de prueba.

RESUMEN DEL METODO

El método ASTM D-1660 para medir la estabilidad a alta temperatura de las turbinas usa el Fuel Coker, el cual sujeta al combustible de prueba a temperaturas y condiciones semejantes a aquellas que existen en las turbinas de aviación. El combustible es bombeado a velocidades predeterminadas a través de una sección de precalentamiento, la cual simula las secciones calientes de la línea de combustible de la máquina como si fuera un enfriador aceite-combustible. Este pasa entonces a través de la parte calentada del filtro la cual representa el área de boquillas en la sección caliente de la máquina en donde los productos de degradación del combustible pueden llegar a quedar atrapados. Un filtro de precisión de acero inoxidable poroso en la sección calentada del filtro atrapa los productos de degradación del combustible formados durante la prueba. El grado de degradación se nota como un incremento en la caída de presión a través del filtro de prueba, que en combinación con los depósitos en el precalentador, se emplea como una medida de la estabilidad térmica del combustible.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

El análisis estadístico de datos consiste en el estudio de las curvas correspondientes a pruebas de estabilidad térmica de turbosina, de acuerdo con el método ASTM D-1660. La razón para llevar a cabo este estudio, es que la curva caída de presión VS tiempo de una turbosina es el reflejo más fiel de lo que realmente sucede en el Fuel Coker.

Ya que la norma de calidad establece 12 pulgadas de mercurio como presión diferencial máxima después de 300 minutos de prueba; de entre un gran número de reportes rutinarios de control de calidad de turbosina proporcionados por la Refinería "18 de -- Marzo" se seleccionaron aquellos en que la prueba duró precisamente 300 minutos; por otra parte, un segundo criterio de selección de datos fué considerar solamente los que indicaron 12 pulgadas de mercurio como caída máxima de presión.

El tiempo en que se alcanzan 0.3 pulg. Hg., se tomó como la variable independiente y la caída de presión a los 300 minutos como la variable dependiente.

Con la cooperación del Centro de Cálculo del I.M.P., se establecieron varios modelos de regresión para los datos antes -- mencionados; los resultados para el modelo exponencial se muestran a continuación:

ECUACION EXPONENCIAL.

	N	=	96 (número de observaciones)
X media	=		4.769
Y media	=		0.482
Coefficiente de correlación	R	=	0.912
Variancia del estimador de Y	$S^2(Ya)$	=	2.294
Variancia del coeficiente de regresión	$S^2(b)$	=	0.061
Variancia de Y_2 media	$S^2(Ym)$	=	0.024
Desviación estándar del coeficiente de regresión	S (b)	=	0.246
Desviación estándar de Y media	S (Ym)	=	0.155
Modelo:	Y	=	ax^b
	a	=	término independiente
		=	2962.191
	b	=	coeficiente de regresión
		=	-1.575

ANALISIS DE VARIANCIA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Estimador
Línea de mínimos cuadrados	93.837	1	93.837
Variación residual de la línea	18.947	94	0.202
Total	112.784	95	

F (calculada) = 465,551

F (tabla) = 6.90 a 99 %

t (calculada) = -21,576

t (tabla) = 3.373 a 99.9 %

X (Dato)	Y (Dato)	Y (Estimada)	Residuo ($Y_D - Y_E$)
105	2.35	1.94	0.41
140	1.80	1.23	0.56
75	10.00	3.30	6.70
250	0.35	0.50	-0.15
200	0.55	0.70	-0.15
260	0.32	0.47	-0.15
180	0.40	0.83	-0.43
274	0.35	0.43	-0.08
115	0.50	1.68	-1.18
140	1.50	1.23	0.27
67	3.10	3.94	-0.84
104	3.55	1.97	1.58
125	1.50	1.48	0.02
44	11.00	7.64	3.36
60	3.40	4.69	-1.29
155	1.30	1.05	0.25
110	1.30	1.80	0.50
100	2.00	2.10	-0.10
83	1.80	2.81	-1.01
32	8.30	12.62	-4.32
32	6.20	12.62	-6.42
37	3.00	10.00	-7.04
100	1.30	2.10	-0.80
135	0.85	1.31	-0.46
170	1.20	0.91	0.29

70	1.20	3.68	-2.48
60	5.50	4.69	0.81
45	11.70	7.38	4.32
115	2.70	1.68	1.02
258	0.40	0.47	-0.07
146	1.00	1.16	-0.16
190	0.60	0.76	-0.16
210	0.70	0.65	-0.05
300	0.30	0.37	-0.07
230	0.50	0.56	-0.06
267	0.50	0.45	-0.05
232	0.50	0.56	-0.06
185	0.55	0.80	-0.25
233	0.60	0.55	0.05
200	0.70	0.70	0.00
186	0.90	0.79	0.11
190	1.00	0.76	0.24
145	1.50	1.17	0.33
180	1.55	0.83	0.72
143	2.20	1.19	1.01
110	2.60	1.80	0.80
114	2.70	1.71	0.99
89	4.00	2.52	1.48
88	4.30	2.56	1.74
48	5.40	6.66	-1.26
93	6.90	2.35	4.55

30	9.60	13.97	-4.37
270	0.35	0.44	-0.09
75	1.70	3.30	-1.60
190	0.70	0.76	-0.06
210	0.58	0.65	-0.07
287	0.32	0.40	-0.08
170	0.80	0.91	-0.11
250	0.38	0.50	-0.12
260	0.40	0.47	-0.07
240	0.45	0.53	-0.08
300	0.30	0.37	-0.07
120	1.20	1.57	-0.37
80	3.70	2.98	0.72
100	2.95	2.10	0.85
160	0.95	1.00	-0.05
85	3.80	2.71	1.09
210	0.60	0.65	-0.05
280	0.40	0.41	-0.01
94	6.50	2.31	4.19
32	10.30	12.62	-2.32
120	1.70	1.57	0.13
70	4.50	3.68	0.82
180	0.80	0.83	-0.03
38	7.90	9.63	-1.73
65	10.20	4.13	6.07
84	5.00	2.76	2.24

58	10.00	4.95	5.05
30	4.50	13.97	-9.47
83	3.00	2.81	0.19
265	0.35	0.45	-0.10
185	0.50	0.80	-0.30
115	2.45	1.68	0.77
170	0.80	0.91	-0.11
135	2.00	1.31	0.69
83	3.20	2.81	0.39
120	2.30	1.57	0.73
300	0.30	0.37	-0.07
105	2.60	1.94	0.66
48	5.60	6.66	-1.06
150	1.30	1.11	0.19
42	10.90	8.22	2.68
190	0.80	0.76	0.04
50	6.90	6.25	0.65
65	5.20	4.13	1.07
70	3.50	3.68	-0.18

De acuerdo con las pruebas F y t puede verse que el modelo exponencial es altamente significativo a un nivel de 99.9%. En la figura 1 se muestra la gráfica correspondiente al modelo seleccionado.

Puesto que la raíz cuadrada de la variancia no explicada, por el hecho de ser un indicador del grado de dispersión de los puntos observados respecto de los puntos calculados por la ecuación de regresión recibe el nombre de error de proyección y se utiliza para fijar intervalos de confianza en las estimaciones, ya que se parte del supuesto de que las diferencias de valores observados a valores calculados tienen una distribución de probabilidad normal. Si se suma y resta una vez el error de proyección el intervalo resultante implica un nivel de confianza de 68%; si se suma y resta dos veces el error de proyección, el nivel de confianza será de 95%; si se suma y resta tres veces el error de proyección, el nivel de confianza será de 99 %, etc.

Del análisis de variancia para el modelo de regresión seleccionado tenemos la variancia no explicada, si a esta se le extrae la raíz cuadrada obtenemos el error de proyección.

$$\begin{aligned} \text{Variancia no explicada} &= 0.2016 \\ \text{Error de proyección} &= \sqrt{0.2016} = 4490 \times 10^{-4} \\ &= 0.45 \end{aligned}$$

Se fijaron límites de confianza a un nivel de 95%, es decir, al valor estimado mediante la ecuación de regresión se le

suma y resta dos veces el error de proyección.

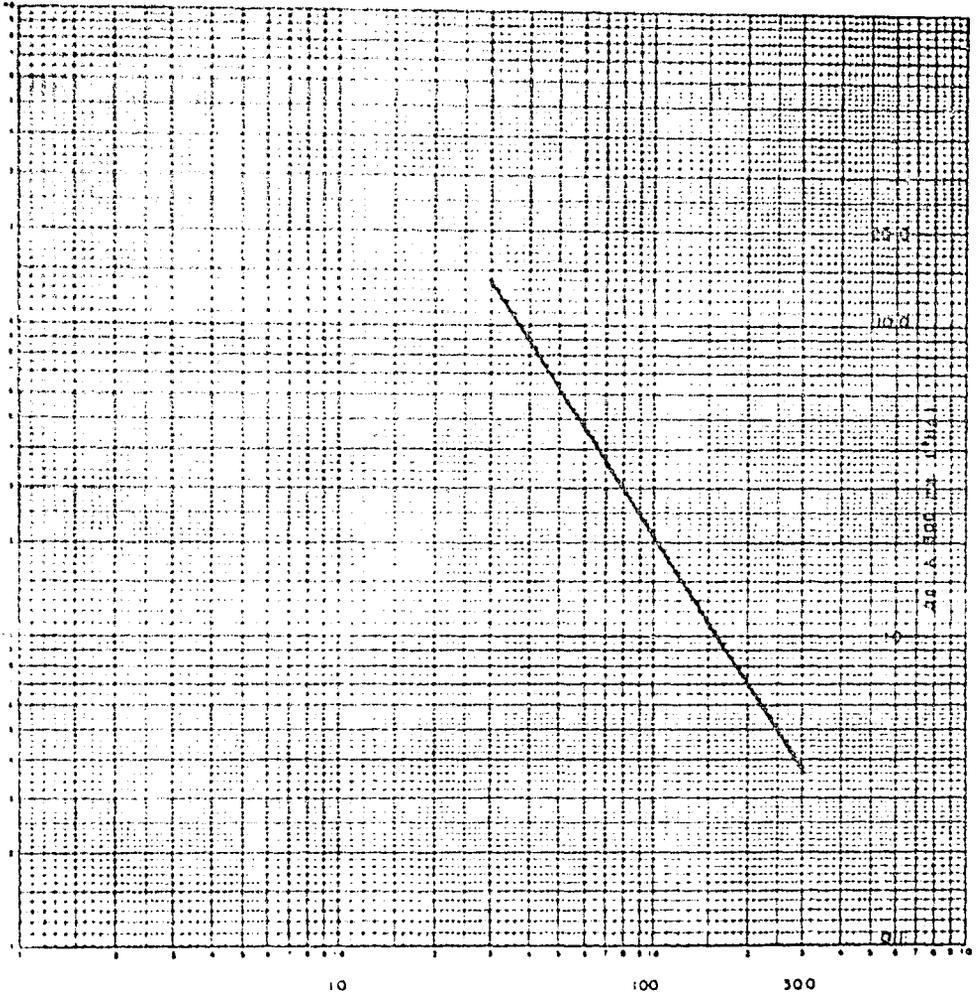
$$Y = Y_e \pm 2 \text{ E. P.}$$

donde Y_e = valor estimado mediante la ecuación de regresión

E P = error de proyección

Mediante el empleo de la ecuación de regresión o de la gráfica correspondiente, es posible estimar la caída de presión - al cabo de 300, conociendo el tiempo en que se alcancen 0,3 pulg Hg.

Los resultados obtenidos al aplicar la modificación al método ASTM D-1660 consistente en reducir el tiempo de operación de 5 a 1 hora, se muestran en el siguiente capítulo.



TIEMPO EN QUE SE ALCANZAN 0.5 Hg (min)

FIG 1

RESULTADOS .

En base a lo dicho en el capítulo anterior, la prueba de control de la turbosina a la salida de la planta, consistiría en operar el Fuel Coker durante una hora como máximo; si en este tiempo la caída de presión observada en la gráfica del equipo ASTM D-1660 fuera menor o igual a 0.3 pulg Hg, aplicando la ecuación de regresión o la gráfica de la figura 1, a un nivel de 95% de confianza que la turbosina de prueba provocará una caída de presión, al cabo de 300 minutos, con los siguientes límites.

$$Y_e = 4.6 \text{ pulg Hg (caída de presión estimada cuando se alcanzan 0.3 pulg Hg en 60 minutos)}$$

$$Y = Y_e \pm 2 \text{ E P (caída de presión con límites de confianza a un nivel de 95\%)}$$

$$2 \text{ E P} = 0.90 \text{ pulg Hg (doble producto del error de proyección para fijar límites de confianza a un nivel de 95\%)}$$

$$Y = 4.6 \pm 0.90$$

Límites:

$$3.7 \text{ a } 5.5 \text{ pulg Hg}$$

En caso de que en un tiempo menor de 60 minutos se tuviera una caída de presión mayor de 0.3 pulg Hg, mediante la gráfica de la fig. 1 o la ecuación de regresión se estimaría de la misma manera la caída de presión al cabo de 300 minutos.

El modelo establecido se probó con 21 gráficas de estabilidad térmica correspondientes a otras tantas turbosinas de la Refinería "18 de Marzo" con los siguientes resultados:

Tiempo a 0.3 pulg Hg (min)	Caída de presión pulg. Hg (dato)	Caída de presión pulg. Hg (estimada)	Límite superior a un nivel de 95% de confianza, pulg. Hg ($Y=Y_e + 2 EP$)
300	0.30	0.37	1.27
260	0.35	0.45	1.35
240	0.40	0.52	1.42
235	0.60	0.53	1.43
95	2.30	2.23	3.13
300	0.30	0.37	1.27
145	1.70	1.15	2.05
300	0.30	0.37	1.27
300	0.30	0.37	1.27
260	0.35	0.45	1.35
175	1.00	0.85	1.75
230	0.40	0.55	1.45
300	0.30	0.37	1.27
200	0.40	0.69	1.59
250	0.40	0.49	1.39
230	0.35	0.55	1.45
300	0.30	0.37	1.27

300	0.30	0.37	1.27
180	0.50	0.82	1.72

Para valores de Y_e menores que 0.90 pulg. Hg, el límite inferior es negativo, lo cual no tiene significado físico ya que indicaría una inversión en el sentido del flujo. En consecuencia, y para fines prácticos se tomará en cuenta únicamente el límite superior.

CONCLUSIONES

Al estudiar matemáticamente las gráficas de estabilidad térmica que se obtienen aplicando el método ASTM D-1660, se determinó que existe cierta correlación entre el tiempo transcurrido para alcanzar 0,3 pulg. Hg y la caída de presión al cabo de 300 minutos, por lo que se estableció la ecuación de regresión que tiene la forma

$$Y = 2962 X^{-1.57}$$

en donde

Y = caída de presión al cabo de 300 min., pulg.

Hg

X = tiempo transcurrido para alcanzar 0,3 pulg.

Hg, minutos.

El valor observado en las gráficas del método ASTM D-1660 para la caída de presión al cabo de 300 minutos, en ningún caso - excedió al valor del límite superior a un nivel de 95% de confianza calculado mediante la ecuación de regresión o su gráfica correspondiente y el error de proyección.

Para los casos en que a los 60 minutos de operación, la caída de presión observada en las gráficas del método ASTM D-1660 no llega a ser mayor de 0,3 pulg. Hg, se puede considerar a un --

nivel de 95% de confianza que el valor máximo de la caída de presión al cabo de 300 minutos, no será mayor de 5.5 pulg. Hg. Este valor se encuentra dentro de la especificación de estabilidad térmica, ya que el valor máximo aceptado es de 12 pulg. Hg. Esto hace posible modificar el método mencionado al reducir el tiempo de operación de 5 a 1 hora.

La reducción del tiempo de operación del equipo Fuel Cooler hace posible el empleo del método ASTM D-1660 como un medio de control del proceso de tratamiento de turbosina.

Al contar con un método rápido será posible aumentar el volumen de turbosina percolada a través del adsorbente, puesto -- que se sabría el momento en que este se ha agotado. Esto significaría un ahorro para Petróleos Mexicanos en cuanto al consumo de clorita en la planta de tratamiento.

Por todo lo antes dicho y para comprobar la efectividad del método, se sugiere que durante el tiempo que Petróleos Mexicanos considere conveniente lo pruebe simultáneamente con la determinación rutinaria de control de calidad, es decir, tomando el -- tiempo en que se alcanzan 0.3 pulg Hg y estimando la caída de presión que proporciona la gráfica, y finalmente, comparar los valores calculados con los datos reales. En caso de obtener resultados satisfactorios con el modelo de regresión establecido, o este mismo ajustado, puede ser propuesto este método modificado al Comité Internacional de la ASTM para su estudio.

B I B L I O G R A F I A

C. R. Johnson, D.F. Fink and A. C. Nixon

Stability of Aircraft Turbine Fuels

Ind. Eng. Chem., 46, No. 10, 2166-2173, 1954

How to Combat Jet-fuels Contaminants

The Oil and Gas Journal, January 6, 73-76, 1964

Jet Fuel Opportunity (Special Report)

Chemical Week, February 27, 54-65, 1960

Jet Fuels In Trouble

The Oil and Gas Journal, September 26, 58-59, 1966

O. C. Blöde

Aviation Turbine Fuels

Petr. Products Survey, March 1967, No. 49, 1 - 13

A. C. Nixon and H. T. Henderson

Thermal Stability of Endothermic Heat - sinks Fuels

Ind. Eng. Chem., 46, No. 4, 87 - 92, 1966

André Criqui

Stabilité Thermique des Carbureacteurs

William Volk

Applied Statistics for Engineers

Mc Graw Hill Book Company, Inc.

New York, 1958

Owen L. Davies

Statistical Methods in Research and Production

Published by Oliver and Boyd

London, 1967

Thomas J. Wallace

Chemistry of Fuel Instability

Advances in Petroleum Chemistry and Refining, Vol. 9

Interscience Publishers

New York, 1964

ASTM Standards on Petroleum Products.

American Society for Testing Materials, 1967