

Modelo de pronóstico para la estimación de la utilización y confiabilidad de equipos dinámicos. Caso: Equipo de compresión de la RPMNE

Ing. Manuel Angel Silva Romero
GPE-RMNE
manuel.angel.silva@pemex.com

Información del artículo: Recibido enero de 2012-aceptado mayo de 2013

Resumen

Para integrar el Plan de Aprovechamiento de Gas de la RPMNE de 2012, se analizó la estadística del % de utilización y confiabilidad de los módulos y booster desde 2008 a agosto de 2011 por el Centro de Proceso de los Activos Cantarell y Ku Maloob Zaap.

Utilizando herramientas de estadística y probabilidad, se analizó el comportamiento del promedio, la desviación estándar, el rango, y los percentiles 10 y 90 (que definen el 80 % de probabilidad de ocurrencia). Con esta información se construyeron series de tiempo y se identificaron franjas de desempeño futuro a través de diversos métodos de pronósticos para cada una de las variables reales, identificando a través de su error la técnica que mejor modela el comportamiento real de la variable.

Los valores pronosticados no fueron muy diferentes de lo que se presentó en la realidad, con lo cual se prueba que los métodos de pronósticos tienen una buena aproximación y permiten predecir desempeños futuros del equipo dinámico de compresión de la RPMNE.

Forecasting model for estimating the utilization and reliability of compressors. Case: Compressors of Marine Region Northeast

Abstract

To integrate the Gas Utilization Plan of Marine Region Northeast 2012, we analyzed the statistics of utilization and reliability of the modules and booster from 2008 to August 2011 of the Processing Centers Assets Cantarell and Ku Maloob Zaap.

Using the tools of statistics and probability, we examined the behavior of average, standard deviation, range, and 10th and 90th percentiles (which define the 80% probability of occurrence). With this information we constructed time series and identified future performance stripes through various forecasting methods for each of the real variables, identified through his mistake the technique that best models the actual behavior of the variable.

The predicted values were not very different from what was presented in the reality, which is proved that the forecasting methods is a good approach and predict future performance of Compressors of Marine Region Northeast.

Introducción

Un pronóstico es una serie de datos que busca predecir el comportamiento futuro de alguna variable y que se obtiene a partir de la historia de la misma.

Hay dos tipos de datos que son los recolectados a través del tiempo, denominados como *series de tiempo* y que consisten en una secuencia de observaciones tomadas a lo largo del tiempo y los de *corte transversal*, cuyas observaciones se hacen en el mismo marco temporal.

En el caso de las series de tiempo, existen cuatro patrones de datos generales: horizontales, tendencias, estacionales y cíclicos.

- El patrón horizontal, mantiene un mismo valor a lo largo del tiempo.
- El patrón de tendencia es el componente de largo plazo que representa el crecimiento o decremento en la serie de tiempo a lo largo de un periodo extenso.
- El componente cíclico es la oscilación alrededor de la tendencia.
- Cuando las observaciones se ven influidas por factores temporales, existe un patrón estacional.

En la industria petrolera es común el uso de series de tiempo, el caso más concreto es el seguimiento a la producción (Qo), que día con día se actualiza a diferentes niveles de detalle (Región, Activo, Campo o Pozo). Una herramienta muy poderosa es contar con la información estadística de las diversas variables a través del tiempo, ya que de aquí se parte para realizar cualquier pronóstico.

Se deben plantear algunas preguntas antes de decidir la técnica de pronósticos más apropiada para un problema específico:

- ¿Porqué se necesita un pronóstico?
- ¿Quién utilizará el pronóstico?
- ¿Cuáles son las características de los datos disponibles?
- ¿Qué periodo debe pronosticarse?
- ¿Cuáles son los requisitos mínimos de datos?
- ¿Qué tanta precisión se desea?
- ¿Cuánto costará el pronóstico?

A fin de seleccionar adecuadamente la técnica conveniente de pronósticos, el pronosticador debe ser capaz de:

- Definir la naturaleza del problema de pronóstico.
- Explicar la naturaleza de los datos que se investigan.
- Describir las capacidades y limitaciones de técnicas de pronósticos potencialmente útiles.
- Desarrollar algunos criterios predeterminados sobre los que se pueda tomar la decisión de selección.

Un factor que influye en la selección de una técnica de pronóstico es identificar y entender los patrones históricos de los datos. Si se pueden reconocer patrones de tendencia, cíclicos o estacionales, pueden seleccionarse técnicas capaces de extrapolarlos de manera eficaz.

En la **Tabla 1** se muestran las principales técnicas de pronóstico, según Hanke (2006); las cuales pueden usarse de acuerdo al tipo de información que se tiene y a dónde se quiere llegar.

Tabla 1. Técnicas de pronósticos (Hanke, 2006).

Método	Patrón de datos	Horizonte de tiempo	Tipo de modelo	Datos mínimos no estacionales	Datos mínimos estacionales
Informal	ST, T, S	S	TS	1	
Promedios simples	ST	S	TS	30	
Promedios móviles (MA)	ST	S	TS	4 - 20	
Suavizamiento exponencial	ST	S	TS	2	
Suavizamiento exponencial lineal	T	S	TS	3	
Suavizamiento exponencial cuadrático	T	S	TS	4	
Suavizamiento exponencial estacional	S	S	TS		2 x s
Filtración adaptativa	S	S	TS		5 X s
Regresión lineal simple	T	I	C	10	
Regresión múltiple	C, S	I	C	10 x V	
Descomposición clásica	S	S	TS		5 x s
Modelos de tendencia exponencial	T	I, L	TS	10	
Ajuste de curva S	T	I, L	TS	10	
Modelos Gompertz	T	I, L	TS	10	
Curvas de crecimiento	T	I, L	TS	10	
Censo X-12	S	S	TS		6 x s
Box- Jenkins	ST, T, C, S	S	TS	24	3 x s
Indicadores principales	C	S	C	24	
Modelos econométricos	C	S	C	30	
Regresión múltiple con series de tiempo	T, S	I, L	C		6 x s

Patrón de datos: ST, estacionarios; T, tendencias, S, estacional; C, cíclico.

Horizonte de tiempo: S, corto plazo (menos de 3 meses); I, intermedio; L, largo plazo.

Tipo de modelo: TS, serie de tiempo, C, causal.

Estacional: s, longitud de la estacionalidad.

Variable: V, número de variables.

El horizonte de tiempo para un pronóstico tiene una relación directa con la selección de la técnica para llevarlo a cabo. Para pronósticos de corto y mediano plazos puede aplicarse una variedad de técnicas cuantitativas. Sin embargo, conforme aumenta el horizonte de pronósticos, algunas de estas técnicas se vuelven menos aplicables. Los modelos de regresión son adecuados para los plazos corto, mediano y largo. Las medias, promedios móviles, descomposición clásica y proyecciones de tendencias son técnicas cuantitativas adecuadas para los horizontes de tiempo cortos e intermedios. Las técnicas más complejas de Box-Jenkins y las econométricas también son adecuadas para pronósticos en los términos corto y mediano.

El pronosticador basa en su experiencia la aplicabilidad de las técnicas de pronóstico. Asimismo, los administradores requieren pronósticos en un tiempo relativamente corto. El suavizamiento exponencial, la proyección de tendencias, los modelos de regresión y los métodos de descomposición clásica, tienen una ventaja en esta situación

La notación matemática también debe ser desarrollada para distinguir entre un valor real de una serie de tiempo y un valor pronosticado. La letra Y se utiliza para indicar una variable de serie de tiempo, el periodo asociado con una observación se muestra como un subíndice. Así Y_t se refiere al valor de una serie de tiempo en el periodo t . El valor de

pronóstico para Y_t es \hat{Y}_t (el sombrero lo indica). La precisión de una técnica de pronóstico con frecuencia se juzgará mediante la comparación de la serie original Y_1, Y_2, \dots con la serie de valores pronosticados $\hat{Y}_1, \hat{Y}_2, \dots$

La diferencia entre el valor real y su valor de pronóstico se conoce como residual (e) y sirve para resumir los errores generados.

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t \quad (1)$$

donde:

e_t = error de pronóstico en el periodo t

Y_t = valor real en el periodo t

\hat{Y}_t = valor de pronóstico en el periodo t

Un método para evaluar las técnicas de pronósticos utiliza la suma de los errores absolutos. La desviación absoluta media MAD, mide la precisión del pronóstico al promediar las magnitudes de los errores de pronóstico (valores absolutos de cada error). MAD es más útil cuando el analista quiere medir el error de pronóstico en las mismas unidades que la serie original.

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [Y_t - \hat{Y}_t] \quad (2)$$

El error cuadrático medio MSE, es otro método para evaluar una técnica de pronóstico. Cada error se eleva al cuadrado; luego, se suman y se dividen entre el número de observaciones. Este método penaliza los errores grandes de pronóstico debido a que los errores se elevan al cuadrado, lo cual es importante.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [Y_t - \hat{Y}_t]^2 \quad (3)$$

A veces, es más útil calcular los errores de pronósticos en términos de porcentajes en lugar de cantidades. El error porcentual absoluto medio MAPE, se calcula al encontrar el error absoluto en cada periodo, dividiéndolo entre el valor real observado para ese periodo y luego promediando los errores porcentuales absolutos. Esta

técnica es especialmente útil cuando los valores de Y_t son grandes. También puede utilizarse para comparar la precisión de las mismas o diferentes técnicas en dos series totalmente distintas.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t} \quad (4)$$

A veces es necesario determinar si un método de pronóstico tiene sesgo (produce pronósticos más altos o más bajos de manera sistemática). En estos casos se usa el error porcentual medio, MPE. Se calcula al encontrar el error en cada periodo y al dividir el resultado entre el valor real para dicho periodo; a continuación se promedian estos errores porcentuales. Si el método de pronóstico no tiene sesgo, el MPE producirá un número cercano a cero. Si el resultado es un alto porcentaje negativo, el método sobreestima de forma consistente y si el resultado es un porcentaje alto positivo, el método subestima consistentemente. El MPE está dado por:

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)}{Y_t} \quad (5)$$

Las cuatro medidas de precisión de pronóstico que recién se han descrito se utilizan para:

- Comparar la precisión de dos (o más) técnicas diferentes.
- Medir la utilidad o confiabilidad de una técnica específica.
- Ayudar a buscar una técnica óptima.

Estas técnicas matemáticas son llevadas a un plano práctico, al ser utilizadas para reproducir el comportamiento futuro sobre la utilización y la confiabilidad de módulos y equipo booster, para el manejo del gas de la RPMNE y que permitiera obtener información para la generación del Plan de Aprovechamiento de Gas. Con este fin se analizó la estadística del % de utilización y confiabilidad de los módulos y booster desde 2008 a agosto de 2011, integrando un modelo de pronósticos con el que se determinó el probable comportamiento de estas variables en 2011 y que al día de hoy han sido confirmados.

Desarrollo del tema

Los modelos son útiles para representar fenómenos físicos, en momentos o condiciones diversas. Al analizar la estadística del funcionamiento de los equipos de compresión (Módulos y Booster) a nivel de Centro de Proceso, Activo y Región como serie de tiempo, se han identificado franjas de desempeño futuro del % de utilización y confiabilidad de los equipos de compresión a través de diferentes métodos de pronósticos; con esto, es posible identificar equipos, e instalaciones que están lejos de cumplir con las expectativas para el aprovechamiento de gas de la RPMNE.

Donde las horas están referidas al o los equipos que se están analizando y se entiende que se está hablando sobre qué tanto tiempo los equipos operan con respecto al tiempo total.

Después de filtrar, ordenar e integrar la información estadística extraída del sistema proMAR (módulo de evaluación del mantenimiento), se hizo un primer análisis

Para interpretar los resultados es necesario conocer que el % de utilización y de confiabilidad de los equipos dinámicos se define por:

$$\% \text{ utilización} = (\text{horas operación} / \text{horas totales}) * 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ confiabilidad} = [(\text{hrs operando} + \text{hrs disponible} + \text{hrs mantto. Prev}) / \text{hrs totales}] * 100 \quad (7)$$

de estadística descriptiva por centro de proceso y activo de la RPMNE.

Con esto se observó el comportamiento del promedio, la desviación estándar, el rango, y en un primer acercamiento a la probabilidad de ocurrencia se observan los rangos de los percentiles 10 y 90 que muestran el 80 % de probabilidad de que se presente un porcentaje entre esos valores.

Tabla 2. Tabla resumen del análisis de estadística descriptiva para el % de utilización de los módulos del APC.

Variable	AKAL-B	AKAL-C	AKAL-G	AKAL-I	TOTAL CANTARELLI
Mean	73.8	84.7	65.7	75.3	77.9
Variance	302.8	96.0	232.0	238.8	53.3
Std. Dev.	17.4	9.8	15.2	15.5	7.3
Median	76.3	84.3	63.0	74.6	79.3
Mean Abs. Dev.	13.7	8.3	11.7	12.2	5.7
Minimum	19.7	64.8	40.5	39.7	56.9
Maximum	98.0	98.3	96.9	97.3	88.5
Range	78.3	33.5	56.4	57.6	31.6
Count	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
Sum	3249.1	3727.8	2890.6	3311.6	3427.9
1st Quartile	63.1	75.6	55.5	65.6	74.6
3rd Quartile	88.1	92.5	69.4	89.8	83.2
10.00%	50.1	70.0	47.2	51.1	67.0
90.00%	92.8	97.3	90.1	95.6	86.2

Donde se concluye que:

- En promedio Akal C, cuenta con el mejor porcentaje de utilización de 84.7 %.
- El valor más bajo es de 19.7 % y ha sido obtenido en Akal B.
- El mejor desempeño ha sido de Akal C, al alcanzar 98.3 %.
- Se ratifica el mejor desempeño en Akal C, al contar con menor dispersión.
- El desempeño más pobre ha sido en los módulos de Akal G.
- El AIC, ha obtenido en promedio un 78 % de utilización en sus módulos.

- Existe un 80 % de probabilidad de que los módulos del AIC operen entre 67 y 86 %.

Al mismo tiempo, se construye un “Diagrama de caja” comparando los diversos centros de proceso (CP), con lo cual de manera visual, se ratifican algunas de las conclusiones mencionadas.

Los valores mínimo y máximo los definen las líneas negras horizontales, mientras que la media se indica con un asterisco en rojo. La mediana es la línea negra vertical dentro de cada caja. Los cuadros rojos indican valores estadísticamente atípicos.

Posteriormente se efectuó un análisis de pronósticos utilizando diversas herramientas para revisar el comportamiento futuro. Esto se hizo corriendo diversos métodos de pronósticos para las variables reales e identificando a través de su error la técnica que mejor modela el comportamiento real de la variable.

Tabla 3. Resultados de los diversos métodos de pronóstico por el tipo de error para el % de utilización del APC.

Method	RMSE	MAD	MAPE	Durbin-Watson	Theil's U
Best: Double Moving Average	4.0	3.3	3.99%	1.56	0.83
2nd: Single Moving Average	4.4	3.4	4.11%	1.13	0.88
3rd: Double Exponential Smoothing	5.5	4.5	5.93%	2.10	0.84
4th: Single Exponential Smoothing	5.5	4.7	6.06%	2.11	0.85
5th: Holt-Winters' Additive	8.3	6.0	7.47%	1.30	1.22

De esta manera, la **Tabla 3** nos muestra que:

- El mejor método de pronóstico es: Promedios móviles doble
- El error porcentual absoluto medio es de 4 %.

Graficando los datos que arroja el simulador, podemos ver que:

- Su pronóstico con tendencia (línea azul de la **Figura 1**), está por encima de 84 %.
- El % utilización, con 80 % de confianza en la estadística oscilará en 2011 entre 81 % y 85 %. En 2012 estará entre 81 % y 91 %. (rango de líneas rojas de la **Figura 2**).

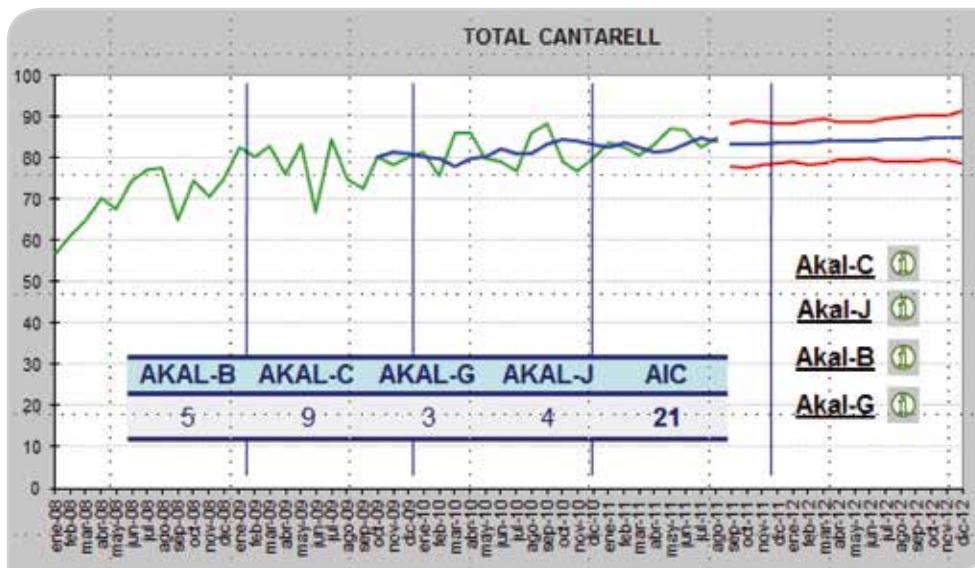


Figura 1. Pronóstico del % de utilización del APC.

Tabla 4. Datos del pronóstico para percentiles 10 y 90.

Date	Lower: 10%	Forecast	Upper: 90%
sep-11	78.1	83.3	88.5
oct-11	77.8	83.4	89.1
nov-11	78.4	83.5	88.7
dic-11	79.0	83.6	88.3
ene-12	79.2	83.8	88.3
feb-12	78.5	83.9	89.2
mar-12	78.6	84.0	89.4
abr-12	79.5	84.1	88.8
may-12	79.7	84.2	88.7
jun-12	80.1	84.3	88.6
jul-12	79.3	84.5	89.6
ago-12	79.2	84.6	90.0
sep-12	79.2	84.7	90.2
oct-12	79.4	84.8	90.2
nov-12	79.4	84.9	90.4
dic-12	78.7	85.0	91.4

Esta misma metodología se aplica para la información del Activo de Producción Ku Maloob Zaap, (que cuenta sólo con equipos Booster) y una vez que se integra la información de confiabilidad, el resultado es un análisis robusto sobre el desempeño de los equipos de compresión (Módulos y Booster), en la RPMNE y que permitió establecer premisas y consideraciones para los análisis de simulación de flujo que se realizaron para proponer el Plan de Aprovechamiento del gas de la RPMNE 2011.

Conclusiones

Para el APC, el análisis del % de utilización de los módulos arrojó que:

- En promedio, Akal C cuenta con el mejor porcentaje de utilización de 84.7 %.
- El valor más bajo es de 19.7 % y ha sido obtenido en Akal B.
- El mejor desempeño ha sido de Akal C, al alcanzar 98.3 %.
- Se ratifica el mejor desempeño en Akal C, al contar con menor dispersión.
- El desempeño más pobre ha sido en los módulos de Akal G.
- **El APC ha obtenido en promedio un 78 % de utilización en sus módulos.**
- **Existe un 80 % de probabilidad de que los módulos del AIC operen entre 67 y 86 %**
- El mejor método de pronóstico es: promedios móviles doble
- Su pronóstico con tendencia está por encima de 84 %
- El error porcentual absoluto medio es de 4 %.
- El % utilización, con 80 % de confianza en la estadística oscilará en 2011 entre 81 % y 85 %. En 2012 estará entre 81 % y 91 %.

En el caso del equipo Booster del APC, la utilización:

- En promedio Akal J cuenta con el mejor porcentaje de utilización de 79.3 %.
- El valor mínimo es 0 % y se obtuvo en Ak-G y N.
- La máxima utilización ha sido alcanzada en Akal J, con 100 %.
- La mayor consistencia se ha tenido en Akal L, por tener 37.4 % en su rango.
- La utilización más baja es en los boosters de Akal G.
- **El APC, ha obtenido en promedio un 66 % de utilización en booster.**
- **Existe un 80 % de probabilidad de que los booster del APC operen entre 56 y 75 %.**
- El mejor método de pronóstico es: promedios móviles doble.
- El error porcentual absoluto medio es de 6.4 %.
- **Se estima promediar en el año 2011, entre 72 y 77 % con 28 boosters.**
- **El promedio 2012 pronosticado oscilará entre 66 y 90 %.**

Para el equipo Booster del APKMZ, se identificó lo siguiente:

- En promedio Zaap C cuenta con el mejor porcentaje de utilización de 88.6 %.
- El valor mínimo es 0 % y se obtuvo en Ku M.
- La máxima utilización ha sido alcanzada en Ku H y Zaap C, con 100 %.
- La mayor consistencia se ha tenido en Zaap C, por tener 35.2 % en su rango.
- La utilización más baja de boosters es en Ku M.
- **El APKMZ, ha obtenido en promedio un 72.6 % de utilización en boosters.**

- Existe un 80 % de probabilidad de que los booster del APKMZ operen entre 66.3 y 81.4 %.

tablas de color azul) no fueron muy diferentes de lo que se había pronosticado, (tablas en color rojo).

Lo relevante y concluyente de este artículo es que una vez que terminó el año 2011, los resultados (mostrados en

Para el caso del APKMZ, que sólo tiene equipo Booster, el pronóstico del % de utilización quedó expresado de acuerdo a la **Tabla 5**.

Tabla 5. Pronóstico de % de utilización para el APKMZ.

Date	Lower: 10%	Forecast	Upper: 90%
sep-11	61.1	66.1	71.1
oct-11	59.7	66.1	72.6
nov-11	58.2	66.1	74.0
dic-11	57.7	66.1	74.6
ene-12	57.9	66.1	74.3
feb-12	58.1	66.1	74.1
mar-12	58.1	66.1	74.1
abr-12	57.8	66.1	74.4
may-12	57.6	66.1	74.5
jun-12	57.4	66.1	74.8
jul-12	56.7	66.1	75.4
ago-12	56.6	66.1	75.5
sep-12	56.2	66.1	75.9
oct-12	56.1	66.0	76.0
nov-12	55.6	66.0	76.5
dic-12	55.4	66.0	76.7

Revisando el comportamiento que se presentó real en el último trimestre de 2011, **Figura 6**, se observa que el pronóstico estimado cumplió cabalmente su función, dado

que los valores estimados están ligeramente en promedio por debajo del % de utilización real.

■ Meta

■ UTLZ (%)

$$\%Utilización = \frac{HRS. OPERACIÓN}{HRS. TOTALES} \times 100$$

	2011					2011
	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Meta	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
UTLZ (%)	67.5	65.1	71.0	69.6	71.6	69.0
Censo	29	29	29	29	29	29

Figura 3. Resultados proMAR para el % de utilización de APKMZ.

Mientras que para el APC, en el caso de los boosters, el pronóstico se estimó de la siguiente manera:

Tabla 6. Pronóstico de % de utilización para el APC.

Date	Lower: 10%	Forecast	Upper: 90%
sep-11	67.5	75.0	82.5
oct-11	66.9	75.3	83.6
nov-11	67.0	75.6	84.1
dic-11	66.8	75.9	85.0
ene-12	67.0	76.2	85.4
feb-12	66.4	76.5	86.6
mar-12	66.2	76.8	87.4
abr-12	65.8	77.1	88.4
may-12	65.1	77.4	89.7
jun-12	64.3	77.7	91.1
jul-12	65.3	78.0	90.7
ago-12	66.5	78.3	90.1
sep-12	68.0	78.6	89.2
oct-12	65.9	78.9	91.9
nov-12	65.9	79.2	92.6
dic-12	61.6	79.5	97.4

Y la realidad se presentaron valores de:

UTLZ (%)	2011					2011
	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
META	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
AKAL-B	58.1	55.9	57.3	47.7	48.4	53.8
AKAL-C	96.6	85.9	97.8	98.9	97.2	95.3
AKAL-G	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
AKAL-J	81.4	91.5	99.0	82.1	80.2	86.9
AKAL-L	68.0	78.3	83.1	70.2	74.8	74.9
AKAL-N	99.0	95.5	98.8	99.8	97.3	98.1
NOHOCH-A	88.5	86.1	67.4	59.1	64.7	73.1
TOTAL CANTARELL	75.8	77.2	79.4	70.4	72.9	75.2

Figura 4. Resultados proMAR para el % de utilización de APC.

Que sólo muestran ligeras diferencias en los meses de noviembre y diciembre, pero que en lo general el pronóstico cumple con las expectativas para la consideración adecuada de los equipos a ser utilizados en el Plan de Aprovechamiento de Gas de la RPMNE.

Con lo cual se prueba que las técnicas de pronósticos tienen una buena aproximación y permiten predecir desempeños futuros del equipo dinámico de compresión de la RPMNE.

Nomenclatura

e_t	=	Error de pronóstico en el periodo t
MA	=	Del Inglés Moving Average, Medias Moviles
MAD	=	Del inglés mean absolute deviation, desviación absoluta media
MSE	=	Del inglés mean squared error, error cuadrado medio
MAPE	=	Del inglés mean absolute porcentaje error, error porcentual absoluto medio
MPE	=	Del inglés mean porcentaje error, error porcentual medio
proMAR	=	Sistema informático de registro de producción marina.
Qo	=	Producción de aceite [Mbd]
RPMNE	=	Región de Producción Marina Noreste
Y	=	Variable de serie de tiempo
Y_t	=	Valor de serie de tiempo en el periodo t
\hat{Y}_t	=	Valor de pronóstico en el periodo t

Referencias

Anderson, D.R., Sweeney, D.J. y William, T.A. 2004. *Métodos Cuantitativos para los Negocios*, novena edición, México, International Thompson.

Gujarati, D.N. *Econometría Básica*, cuarta edición. México: McGraw-Hill.

Hanke, J.E. y Wichern, D. 2006. *Pronósticos en los Negocios*, octava edición. México: Pearson Educación.

Semblanza

Ing. Manuel Angel Silva Romero

Ingeniero Petrolero egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México en julio del 2000; año desde el que labora en la Gerencia de Programación y Evaluación de la Región Marina Noreste a través de la Subgerencia de Programación y Seguimiento Operativo.

Cuenta con estudios de Maestría en Ingeniería Petrolera y se ha especializado en evaluación económica y análisis de riesgo.

Entre sus actividades gremiales destaca el haber sido Vicepresidente fundador de la Sociedad de Alumnos de Ingeniería Petrolera; actualmente es miembro del Colegio de Ingenieros Petroleros de México, de la Society of Petroleum Engineers, y de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México, la cual le otorgó el Premio Antonio J. Bermúdez en 2011.