

El modelo normalizado para representar los cambios del consumo en función de las variables relevante se propone lineal. Esto no quiere decir que la variación real sea lineal, sino que puede representarse de forma lineal.

A continuación se presentan diferentes modelos que pueden utilizarse. El tipo de modelo dependerá de las condiciones de cada empresa e involucra principalmente la información de variables relevantes usadas para la normalización. Se exponen tres tipos de modelos: univariable, donde el consumo se normaliza con una única variable (generalmente producción); multivariable, donde el consumo se normaliza con más de una variable relevante; y producción equivalente, donde el consumo asociado a diferentes productos obtenidos de un mismo proceso, se expresa en función de uno solo de los productos.

- **Línea de base Energética Univariable**

Esta representación se basa en que el consumo de energía de cualquier proceso tiene un componente fijo que no depende de la producción realizada y otro componente variable que si depende de la cantidad de producción.

El componente fijo se asocia tanto a condiciones para mantener el proceso (tales como iluminación, ventilación, energía para arranques) como a energía que se está desperdiciando debido a trabajos en vacío de equipos, consumo durante cambios de productos, pérdidas de energía constantes de proceso o aspectos similares. El componente variable se asocia con energía para transformar la materia prima y puede representarse como una constante de consumo unitario de energía por la cantidad de producto realizado.

Bajo este planteamiento el modelo lineal puede expresarse como:

$$E = m * P + E_o$$

Donde:

- E- consumo total de energía
- E_o-corresponde al valor medio de la energía no asociada a la producción (Ej. Pérdidas constantes de energía + energía almacenada + energía en materiales de desecho + energía consumida durante cambios de productos + energía en arranques y paradas típicos + energía por ineficiencias de mantenimiento constantes + energía en iluminación, ventilación y servicios auxiliares, etc. u otros aspectos que no dependen de la producción realizada)
- m- índice de consumo de transformación de la materia prima del proceso o razón de cambio de E vs P que se refleja en la pendiente de la ecuación.
- P- cantidad de producto transformado.

Este modelo teórico puede ser obtenido mediante un gráfico de regresión lineal con datos seleccionados en el periodo adecuado de establecimiento de la línea de base

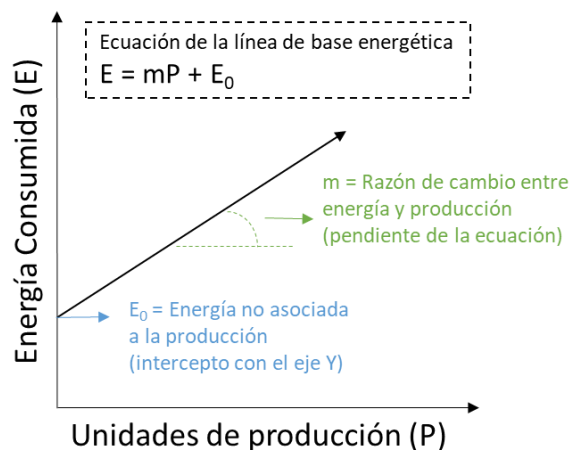


Ilustración 13. Elementos de una línea de base energética univariable

En el siguiente ejemplo se presenta una línea de base energética para una línea de producción en una planta del sector cerámico, levantada usando información de datos de producción y energía diarios durante un periodo de tiempo de un año.

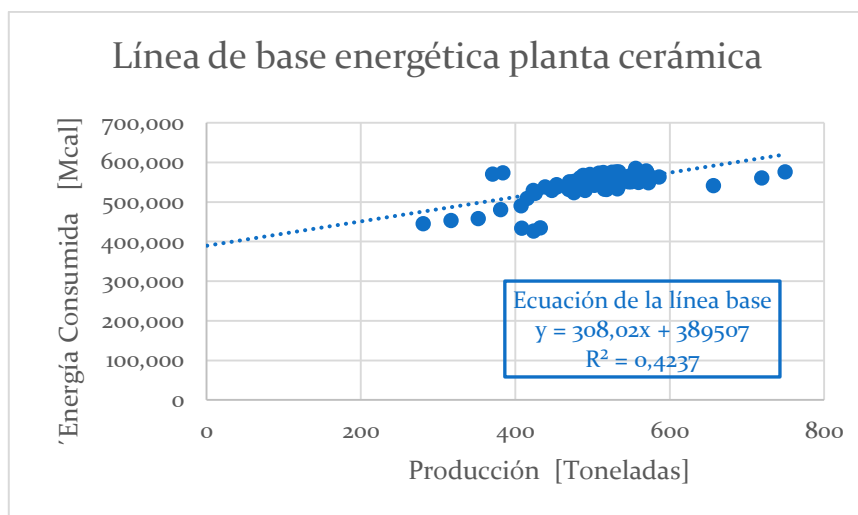
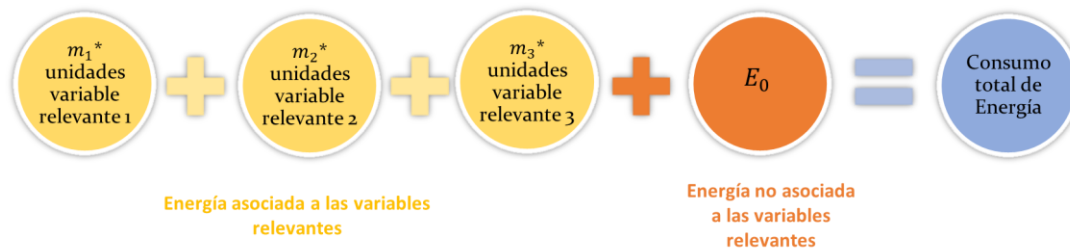


Ilustración 14. Ejemplo de una línea de base energética univariable para una planta del sector cerámico

- **Línea de base Energética Multivariable**

Es necesaria cuando se requiere normalizar la línea base con más de una variable relevante. Por ejemplo puede aplicarse en un USE correspondiente a una línea de producción donde se producen tres referencias A,B y C, o en un proceso productivo donde, además de la cantidad producida, los cambios de temperatura tienen un alto impacto en el consumo de energía. En este caso, cada variable relevante tendrá una razón de cambio (m) y se contará con un factor E_0 , correspondiente a energía no asociada a ningunas de las variables relevantes.

Figura 1. Elementos de una línea de base multivariable.



La ecuación de línea base multivariable me permite normalizar el consumo de energía en función de esas tres variables relevantes para el consumo de energía que además no pueden ser objeto de control para mejorar el desempeño ya que responden a compromisos productivos de ventas.

Ejemplo ecuación multivariable:

En una planta de fabricación de jarabes se usa un proceso de carbonatación por el cual se introduce el CO₂ a la bebida para que adquiera sensación de frescura al consumirla. Este proceso se realiza a presión y a baja temperatura produciendo un impacto en el consumo de los equipos y sistemas auxiliares significativos en el proceso. De esta manera, el consumo de energía eléctrica es influenciado significativamente no solo por la cantidad de bebida envasada, sino también por la temperatura a la cual se produce el proceso de carbonatación. La empresa mantiene la información de consumos y de valores históricos de las tres variables según se muestra en la Tabla 6.

	Variables dependientes		Variables independientes
Mes	Producción (Kg/mes)	Temperatura carbonatacion °c	Consumo (KWh/mes)
ene	5.150	10	19.780
feb.	8.600	12	21.844
mar.	9.300	14	25.628
abr.	8.250	11	22.876
may.	12.215	15	29.584
jun.	11.500	15	29.584
jul.	3.064	8	13.416
ago.	2.584	9	17.028
sep.	6.453	11	22.879
oct.	9.027	13	28.899
nov.	9.768	15	29.756
dic.	9.239	13	24.596
ene.	2.072	7	11.352
feb.	7.003	9	18.748
mar.	6.003	8	17.200
abr.	6.820	9	18.060
may.	6.852	10	19.436
jun.	8.639	10	19.264
jul.	5.914	9	18.060
ago.	7.118	11	20.468
sep.	8.677	12	21.470
oct.	10.984	15	24.768

Tabla 6. Registros históricos de producción, temperatura de carbonatación y consumo de energía utilizados para la realización de la línea de base energética multivariable.

Bajo este análisis, se procedió a correlacionar el consumo de energía con las dos variables relevantes que impactan significativamente dicho consumo: producción (Kg/mes) y temperatura de carbonatación (°C). Se validó que ambas variables fuesen significativas en el valor del consumo y se revisó el coeficiente de determinación.

De esta manera, se obtuvo la siguiente ecuación para la línea de base energética:

$$Y = 0,393 * Producción + 1519,48 * Temperatura + 1636,31; kWh/mes$$

$$R^2 = 0.94$$

- **Producción equivalente**

En algunos casos es posible llevar una línea base multivariable a una línea base univariable utilizando la técnica de “Producción equivalente”, lo que permitirá expresar la línea base de una manera más comprensible para los operadores y el personal de planta.

La línea base de la producción equivalente univariable, a diferencia de la multivariable, me permite representar la correlación del consumo de energía con la variable relevante en un plano y determinar gráficamente el consumo meta alcanzable por variabilidad de la producción y la gestión del mantenimiento.

En casos de tecnologías, equipos o procesos que producen varias referencias al mes, generalmente el consumo de energía para una tonelada de un tipo de referencia es diferente que para la misma tonelada de otro tipo de referencia. Por tanto, el consumo de energía mensual se verá afectado por la cantidad de toneladas realizadas de cada referencia y esto no tiene que ver con el desempeño energético de la línea o equipo.

Para hacer una evaluación correcta del desempeño energético es necesario que la comparación no este afectada por el cambio de la cantidad mensual producida de cada referencia en el consumo de energía total. Es decir, se necesita normalizar el desempeño energético.

Para normalizar el consumo de energía se refieren todos los tipos de producción a una sola. La referencia se realiza por consumo de energía.

Ejemplo de Línea de Base Energética por producción equivalente:

Supongamos un proceso con dos tipos de referencias donde la producción se registra en toneladas. Si producir una tonelada de la referencia A requiere 2 KWh/mes y una tonelada de la referencia B, 1 KWh/mes, la tonelada de la referencia A equivale en energía a 2 toneladas de la referencia B.

Si al final del mes la producción realizada fue de 10 toneladas de A y 20 toneladas de B, en términos energéticos puede decirse que se produjeron 20 toneladas equivalentes a la referencia A, en lugar de 30 toneladas físicas.

La ecuación de la línea base se hace como una función univariable de consumo de energía en función de las toneladas equivalentes de la referencia A:

$$E = m*(\text{unidades equivalentes de referencia A}) + E_0$$

$$1 \text{ unidad equivalente de referencia A} = 1 \text{ unidad de referencia A}$$

$$1 \text{ unidad equivalente de referencia A} = 2 \text{ unidades referencia B}$$

Esto permite normalizar el consumo de la línea base para normalizar la evaluación del desempeño.

La evaluación del desempeño se hará midiendo el consumo de energía y la cantidad de toneladas realizadas para cada referencia en un mes. Con esas toneladas por referencia, se hallan las toneladas equivalentes producidas. Con las toneladas equivalentes se halla en la ecuación de la línea base cuánto hubiera consumido en el periodo base. Comparo ese valor, con el valor real del consumo y observo si mejoré mi desempeño respecto al periodo base o lo empeoré.

En esta comparación se elimina la influencia de la cantidad producida por referencias en el consumo de energía y por tanto en el desempeño energético controlable por la gestión de la operación y del mantenimiento en el proceso.

- h) **Determinar atributos del modelo.** Una vez determinado y validado el modelo de la línea base pueden determinarse los atributos que lo describen. Los atributos pueden ser estadísticos (para establecer el grado de ajuste del modelo a la realidad del proceso) o físicos (para indicar e interpretar lo que ocurre el proceso desde el punto de vista energético a partir de los resultados del modelo) según se describe a continuación:

Atributos Estadísticos

- **Población confiable:** Período representativo del comportamiento del proceso que cubre toda la variación posible de las variables significativas.
- **Datos confiables:** Cantidad de datos de la muestra de la población confiable de datos para elaborar el modelo con un grado de confiabilidad y precisión deseadas.
- **R²-** El coeficiente de determinación del modelo estadístico, indica en qué grado la variable o variables relevantes seleccionadas explican la variación del consumo.
 - **Confiabilidad:** Que porcentaje de la población de datos puede ser descrito por el modelo, con el r² obtenido.

Atributos Físicos