

LA DEMANDA MÁXIMA Y LOS COSTOS DE UN ARRANQUE EN BOMBEO.

ING. JUAN J. DEL CASTILLO
DEPTO. DE DISEÑO ELÉCTRICO – ELECTRONICO

STEM DAKTALAKTOR^{MR}
ELECTRONICA DE POTENCIA

SOLEDAD DE GRACIANO SANCHEZ, SAN LUIS POTOSI, S.L.P. MEXICO

RESUMEN.

Muchos de los que andamos en la industria de la producción de agua potable o de agua para riego, no tenemos una idea clara de como se mide la demanda máxima en la factura de CFE; y mucho menos, de qué magnitud es el impacto de un arranque o de varios arranques durante el periodo de medición en los costos; la falta de información y de análisis hace que este punto sea un “tabú” y se tomén decisiones erráticas en la operación y administración de los equipos de bombeo.

Se analiza a la Demanda Máxima (DM) según la definición de CFE; retomamos el concepto matemático de promediación; ajustamos la promediación en base e un evento de arranque y se revisan los conceptos de cobro en la factura de Energía Eléctrica.

CONCLUSIÓN.

La Demanda Máxima (DM) no es afectada tanto como se creé por un par de arranques en un lapso de tiempo menor a los 15 minutos; además, el costo de un arranque es relativamente bajo si hablamos de equipos de bombeo en tarifas 9CU, 06 u OM; más bien, el ahorro y la atención se deben enfocar a factores como el de utilizar motobombas y equipos más eficientes y de la corrección del Factor de Potencia.

Nuestra compañía suministradora de Energía Eléctrica (CFE); considera dentro de sus conceptos de cobro lo siguientes cargos (ver www.cfe.gob.mx); cabe decir, que según la tarifa de cobro y condiciones de medición, se aplican los siguientes conceptos:

1. **Energía:** *costo de la Energía (E), es el total de los kWh en todo el periodo de medición, normalmente 1 mes; resulta de multiplicar estos kWh-mes por el costo estipulado (\$ kWh); aplicado a todas las Tarifas.*
2. **Demanda Máxima:** *la Demanda Máxima (DM), es otro cargo adicional al de Energía que no se podrá eliminar con ningún método de arranque suave o rutina de proceso; la Demanda Máxima (DM), está definida como el valor de Energía Eléctrica de mayor magnitud medido (en kW) en un lapso de 15 minutos en todo el periodo de medición (1 mes); este cargo se aplica prácticamente a todas las tarifas a excepción de la tarifa 9CU, en la tarifa HM por ejemplo, cambia de costo según la hora del día y época del año (ver www.cfe.gob.mx); el cargo por Demanda Máxima, resulta de multiplicar los (kW) de Demanda, por el costo*
3. *de Demanda estipulado (\$kW).*

NOTA 1: *Ambos cargos sumados (Energía, E) y Demanda Máxima (DM); constituyen la denominada "FACTURACIÓN".*

NOTA 2: *La Demanda Máxima (DM) es medida en kW, no en kVA o corriente de línea (Aca) máximo; un arranque de motor incrementa mucho la magnitud de corriente de línea pero el voltaje está al 65% o menos, según el equipo con que se arranca; además, el Factor de Potencia (FP) es también muy bajo y un arranque dura segundos, esto hace que en realidad la Potencia Activa de arranque (P_A ; kW) sea muy pequeña respecto a la potencia de operación continua (P_o ; en KW) que en el tiempo (horas), se convertirá en Energía (kWh). Cabe decir también, que estos "lapsos" de medición de 15 minutos, comienzan y acaban a cada 5 minutos sin que alteren el mecanismo de medición de la Demanda Máxima (DM).*

4. **Cargo de 2% Baja Tensión:** *Este cargo resulta de aumentarle un 2% a "FACTURACIÓN" (suma de los cargos "Energía" más "Demanda Máxima"); y solo se aplica, a las instalaciones eléctricas que dispongan de medición en el lado secundario del transformador de suministro.*
5. **Cargo Bajo Factor de Potencia / Bonificación Factor de Potencia:** *Cuando el Factor de Potencia promedio de todo el periodo (FP) resulta menor al 90%, se aplica un cargo según ecuación (ver www.cfe.gob.mx) que puede llegar hasta un 120% sobre la suma de "FACTURACION" + Cargo 2% Baja Tensión (en caso de aplicarse); o bien, si el Factor de Potencia*

(FP) es mayor al 90%, se aplica una "Bonificación Factor de Potencia" a la suma de "FACTURACIÓN" + Cargo 2% Baja Tensión (en caso de aplicarse) que puede llegar a una reducción de hasta el 2.5%.

6. IVA: Cargo del 16% a la suma de costos "Energía"+"Demanda Máxima"+"cargo 2% Baja tensión (si aplica)".

7. **Definición de Promedio:** también llamado *media aritmética*; aplicado a medición eléctrica, es la suma de los valores muestreados durante el "lapso" de medición de 15 minutos, dividido entre el número de muestras realizadas; la cantidad de valores muestreados y la velocidad de adquisición es propio de los medidores y no alteran la definición de promedio, solo aumentan la precisión; matemáticamente, dadas "n" muestreos de magnitudes $\{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\}$; el promedio se define como:

$$\text{Promedio} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

8. Teoría y Desarrollo de la aportación a la Demanda Máxima (DM) de múltiples arranques en un solo "lapso" de 15 minutos.

Sea entonces la Potencia Eléctrica Activa de un arranque (P_A , en kW), que se repite (N_A) veces en un "lapso" de medición de 15 minutos (900 segundos) y con una duración de arranque de (t_A) segundos cada uno (suponemos para fines de simplicidad de igual duración todos los arranques); por otro lado, definamos también la potencia de régimen permanente o simplemente de operación (P_O , en kW) que demanda este motor; suponemos también que:

$$P_O < P_A \quad (2)$$

En otras palabras, la Potencia de Arranque (P_A) es "k" veces mayor que la Potencia de Operación continua (P_O); a saber:

$$P_A = k * P_O \quad (3)$$

Para que la idea sea clara, trabajaremos con un ejemplo e iremos de la mano con la teoría para formalizar los resultados:

- Motor 85 HP @ 440 Vca; 113 Aca, 60 Hz, sumergible.
- Tarifa OM; Demanda Contratada 75 kW.
- \$kWh= 1.437 Energía; \$kW=204.47 Demanda.
- $P_O = 65$ kW; Potencia Activa de Operación.
- $P_A = 90$ kW; Potencia de Arranque.

➤ Tiempo de arranque (t_A): 9 segundos; tensión reducida tipo autotransformador.

Entonces; si seccionamos el "lapso" de medición de 15 minutos (900 segundos) en base a la duración de 1 solo arranque ($t_A = 9$ s), no resulta difícil observar, que el "lápso" de medición de 15 minutos (900 s) dura lo que 100 arranques.

Continuando con esta idea; si arrancamos 1 sola vez en el "lapso" (9 segundos a 90 kW) y dejamos que el motor opere el resto del "lapso" de 15 minutos (891 segundos a 65 kW) a la potencia nominal o de operación sin apagarlo; entonces, la potencia de arranque (P_A) ocupará (1/100) partes mientras que la operación continua usará el resto del periodo; es decir, 99/100; el promedio de la demanda máxima será naturalmente según (1) como sigue:

$$DM_1 = \frac{P_A + 99 * P_O}{100} = \frac{90kW + 99 * 65kW}{100} = 65.25 kW \quad (4)$$

Si ahora, arrancamos 3 veces (9 segundos de arranque a 90 kW) en el "lapso" de 15 minutos y lo apagamos 3 veces, con duración de 90 segundos cada vez (10 veces lo que duró un arranque por desactivación), el tiempo restante del "lapso" opera a régimen constante (65 kW); entonces se modifica el cálculo como sigue:

$$DM_3 = \frac{3 * P_A + 97 - 30 * P_O}{100} = \frac{3 * 90kW + (97 - 30) * 65kW}{100} = 46.25 kW \quad (5)$$

Nota: Observe que se le restan los 30 tiempos muertos (apagado) a los tiempos de operación continua.

Luego entonces, con esta misma mecánica; definimos una ecuación general que nos describa al promedio de la Demanda Máxima (DM) en función del "lapso" de 15 minutos (900 segundos), del número de arranques (N_A) en el "lapso"; duración de los arranques (t_A , segundos) considerados todos de la misma duración; de la duración de los tiempos apagado o tiempos muertos (t_m); de la Potencia de arranque (P_A) y de la Potencia de operación (P_O) como sigue:

$$DM = \frac{N_A * P_A + P_O \left(\frac{900}{t_A} - \frac{t_m}{t_A} - N_A \right)}{\frac{900}{t_A}} kW \quad (6)$$

Aplicando la ecuación (3) y simplificando, llegamos al siguiente resultado:

$$DM = P_O \left[\frac{N_A * t_A * (k - 1) - t_m}{900} + 1 \right] kW \quad (7)$$

Donde:

DM: Demanda Máxima promedio en un "lapso" de 15 minutos (900 segundos) en kW.

P_O : Potencia de Operación del motor en régimen continuo o estable (kW).

N_A : Número de arranques en el mismo "lápso" de tiempo de 15 minutos (número entero).

t_A : Tiempo de duración del arranque (segundos, s).

t_m : Tiempo muerto o de apagado (segundos, s).

k : veces la Potencia de régimen continuo ($k > 1$), ver (3).

Sin embargo, el tiempo muerto (t_m), se puede expresar también como la diferencia de los 900 segundos del "lapso" menos la suma de los segundos de arranque y de los segundos que opera en régimen continuo (t_o) dentro del "lapso"; a saber:

$$t_m = 900 - (N_A * t_A + t_o) \quad (8)$$

Donde:

t_o : Tiempo de operación en régimen continuo (segundos, s) no incluye el tiempo de duración del arranque (t_A).

Lo que simplifica significativamente a (7) cuando se sabe el tiempo de operación (t_o) y no el tiempo muerto (t_m); queda de la siguiente manera:

$$DM = \frac{P_o}{900} [N_A * t_A * k + t_o] \text{ kW} \quad (9)$$

Y debe de cumplirse según (8) que:

$$N_A * t_A + t_o + t_m = 900 \text{ segundos} \quad (10)$$

Apliquemos la ecuaciones (7) y (9) en ejemplos prácticos y reales; debemos antes determinar de (3) que:

$$k = \frac{P_A}{P_o} = \frac{90 \text{ kW}}{65 \text{ kW}} = 1.3846 \quad (11)$$

- ✓ Entonces para 1 arranque sin apagar el equipo durante todo un "lapso" de medición; se aplica la ecuación (9):

$$DM_1 = 65 \text{ kW} \left[\frac{1 * 9 * (1.3846) + (861)}{900} \right] = 65.25 \text{ kW} \quad (12)$$

Nota: recuerde que (t_o) es el tiempo de operación en régimen permanente, no incluye el arranque.

- ✓ Cálculo para 3 arranques como en el caso de una prueba de una bomba dentro del "lapso" de 15 minutos con tiempo de apagado de 90 segundos (270 segundos fuera); resto del "Lapso" en operación; aplicamos la ecuación (7):

$$DM_3 = 65 \text{ kW} \left[\frac{3 * 9 * (1.3846 - 1) - 270}{900} + 1 \right] = 46.25 \text{ kW} \quad (13)$$

- ✓ Ejemplo en régimen de avería; motor con falla de rangua; 4 arranques de 9 segundos con Potencia de 120 kW, Potencia de operación estable 80 kW en un mismo “lapso”; 1 minuto de operación por cada arranque antes de dispararse por sobrecarga y restablecer; se prefiere aplicar (9):

$$DM_4 = 80 \text{ kW} \left[\frac{4 * 9 * \left(\frac{120}{80}\right) + (4 * 60)}{900} \right] = 26.13 \text{ kW} \quad (14)$$

Observamos que la situación del ejemplo de un solo arranque y operación continua es la de mayor impacto en la Demanda Máxima y no solo eso, jسته es el caso más común!; los eventos esporádicos de pruebas y de avería no aportan valores altos de Demanda Máxima como se creé; no se debe de perder de vista, el hecho de que se va a seleccionar el “lapso” de 15 minutos de medición con el mayor valor de kW en todo el periodo de 30 días.

9. Costo de Arranque.

Es de particular interés determinar el costo de un arranque (\$A) aproximado; sobre todo, cuando son equipos de bombeo de agua potable en sociedades que comprenden a varias comunidades con la finalidad de distribuir equitativamente los costos; esto también es, por la creencia infundada de que la demanda máxima es generada solo por los arranques y al desconocimiento de que es debida principalmente al consumo de Energía Activa (kW) y al tiempo de operación del motor en régimen permanente.

Podríamos sin embargo, determinar el costo de un arranque calculando aproximadamente la Energía (E_A) consumida en este evento transitorio multiplicada por el costo de la Energía (\$) en el recibo; sin embargo, lo mejor es repartir el costo de la factura en proporción al uso en horas de cada comunidad excluyendo costo adicional por los arranques.

La Energía (E_A) consumida en un arranque se puede expresar aproximadamente como sigue:

$$E_A = P_A * t = \frac{\sqrt{3} * V_{L-L} * I_L * FP}{1000} * \frac{t_A}{3600} \quad (\text{kWh}) \quad (15)$$

Donde:

E_A: Energía en el arranque (kWh).

P_A: Potencia de Arranque (kW).

t: tiempo.

t_A: Duración del arranque (s).

V_{L-L}: Voltaje entre líneas (Vca).

I_L: Corriente de línea (Aca).

FP: Factor de Potencia.

Para fines prácticos; supongamos un arranque a tensión reducida tipo autotransformador de dos pasos (transición abierta) en el mismo ejemplo; 85 HP @ 440 Vca; 113 Aca nominal; tarifa OM:

- ✓ Arranque de 8 segundos a 65% de 440Vca; 250 Aca; FP = 50%.
- ✓ Transición a tensión plena de 1 segundo; 565 Aca (500% de corriente nominal); FP = 82%.

Entonces la Energía de arranque será la suma de la Energía de los dos pasos; apliquemos (15), a saber:

$$E_A = \frac{\sqrt{3} * 286 \text{ Vca} * 250 \text{ Aca} * 0.5}{1000} * \frac{8 \text{ s}}{3600 \text{ s}} + \frac{\sqrt{3} * 440 \text{ Vca} * 565 \text{ Aca} * 0.82}{1000} * \frac{1}{3600} = 0.23567 \text{ kWh} \quad (16)$$

De la misma factura se obtienen el costo del kWh a la fecha y es de \$ 1. 437 = \$ Energía; entonces, el costo por Energía en el arranque es de:

$$\$A = E_A * \$ \text{ Energía} \quad (17)$$

$$\$A = 0.23567 \text{ kWh} * \$ 1,437 = \$ 0.338 \text{ por arranque} \quad (18)$$

Podemos decir a manera ilustrativa; que en esta factura; se adeudaron \$ 12, 984.13 por Cargo Demanda Máxima y \$ 10, 885.36 por Energía; entonces, la "Facturación" resulta de la suma de estos dos conceptos; es decir, \$ 23, 869.49; naturalmente se carga un 2% por medición en baja tensión de \$ 477.38 y se Bonifica por alto Factor de Potencia -\$ 584.32; resultando un total de \$ 27, 564.55 ya con impuestos.

Como se observa en la operación (18) que los costos por arranque son muy bajos; por esto, proponemos mejor distribuir el costo total de la Factura ya con impuestos proporcional al uso del equipo de bombeo y por solo decirlo, no arrancar más de 3 o 4 veces en el "lapso" de 15 minutos.