

Efectos de la instalación de bancos de capacitores en sistemas industriales con presencia de armónicas

Luis Guillermo Espinoza Mendoza

Objetivo.- El propósito de este trabajo es mostrar la influencia que tienen los bancos de capacitores en la respuesta de los sistemas eléctricos principalmente, cuando existen armónicas en el sistema.

Palabras clave: armónicas, resonancias, factor de potencia, bancos de capacitores

1.0 Introducción

Las armónicas se han vuelto un elemento común en casi todas las instalaciones eléctricas, su presencia se ha vuelto algo cotidiano en los hogares, comercios, industrias.

Tal como se sabe, las armónicas son originadas por las cargas conocidas como no lineales entre las cuales se encuentran todos los dispositivos que involucran electrónica de potencia

Se sabe que las armónicas causan diversos problemas que regularmente ocasionan que la vida útil de los equipos se reduzca, principalmente debido a que las corrientes armónicas circulantes ocasionan un calentamiento excesivo en los equipos, lo que repercute en un incremento en las pérdidas eléctricas, adicionalmente, los voltajes armónicos impuestos en los equipos hacen que el aislamiento sea esforzado mas de lo normal.

Existen en el mercado diversas opciones para solucionar el problema de las armónicas, al menos mantenerlo dentro de límites recomendados, la selección de la mejor dependerá de la situación particular que se presente.

Entre las soluciones mas comunes se encuentran los filtros activos, pasivos, lograr defasamientos con la finalidad de cancelar las armónicas.

2.0 Normatividad aplicable

Debido a que el problema cada vez se ha generalizado mas dentro de las instalaciones eléctrica, entonces diversos organismos nacionales e internacionales se han preocupado por trabajar en conjunto para establecer limites permisibles de armónicas que mientras sean mantenidos, entonces el problema no es severo.

Entre estos organismos se encuentra el IEEE que generó la norma IEEE Std 519-1992[1], la cual establece límites para que los usuarios contribuyan con corrientes armónicas a la red eléctrica, asimismo, indica límites para que las compañías suministradoras proporcionen un voltaje distorsionado que no afecte a los usuarios.

Estos límites recomendados se muestran en las tablas siguientes:

Voltaje nominal	Distorsión Individual de Voltaje	Distorsión Total de Voltaje
Hasta 69 kV	3.0 %	5.0 %
Entre 69 y 161 kV	1.5 %	2.5 %

Tabla No.1 Límites de distorsión de Voltaje [1]

En la tabla No. 1, se muestran los límites recomendados para los voltajes armónicos que las compañías suministradoras proveen a los usuarios.

I_{co}/I_{nom}	< 11	11<h<17	17<h<23	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	12.0

Tabla No. 2 Límites de distorsión de corriente para sistemas entre 120 y 69,000 V[1]

En la tabla No. 2 se presentan los valores recomendados para distorsión de corriente originada por los consumidores para armónicas impares.

Asimismo, la Comisión Federal de Electricidad ha trabajado para establecer algunos límites para que los usuarios contribuyan con corrientes armónicas en el sistema eléctrico.

3.0 Planteamiento del Problema

El sistema eléctrico mostrado en la figura muestra un sistema típico que debido a las cargas que alimenta se estudio pues tenía un factor de potencia bajo y con la finalidad de corregirlo se recomendo instalar un banco de capacitores

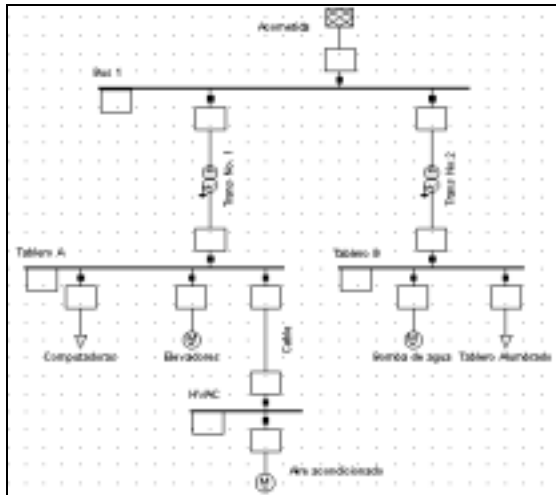


Figura No. 1 Diagrama unifilar del sistema a estudiar

El sistema tiene una alimentación de parte de la compañía suministradora en 34.5 kV libre de armónicas que a su vez alimenta dos transformadores que reducen a 220 y a 440 Volts, de acuerdo a las cargas

En este sistema se tiene cargas típicas como tablero de alumbrado, equipos de aire acondicionado, elevadores, computadoras.

Bajo condiciones normales de operación, se analizó una condición operativa típica mediante un estudio de flujos de carga y se encontró que los siguientes voltajes en los buses del sistema, así como, su factor de potencia

Referencia	Voltaje p.u.	f.p.
Acometida	0.99	0.79
Tablero A	0.95	0.83
Tablero B	0.97	0.82
Aire acondic.	0.95	0.67

Tabla No. 3 Voltaje y factor de potencia en condiciones normales

De los resultados se encontró que el factor de potencia es muy pobre en toda la instalación y entonces se recomendó la instalación de bancos de capacitores.

4.0 Las armónicas presentes

Debido a que hasta el momento, no se ha considerado la presencia de armónicas en la red, es necesario analizar que tanto contenido de armónicas se tiene presente y además, establecer si se encuentran dentro de los límites recomendados por las normas [1,2].

De acuerdo a mediciones realizadas, se encontró que algunas cargas existentes muestran un contenido armónico tal como se describe en las tablas No. 4 y 5

Armónica	Magnitud	Angulo
5ta	4 %	12 °
7ma	17%	45 °
11va	8 %	134 °

Tabla No. 4 Contenido armónico del centro de computo

Armónica	Magnitud	Angulo
5ta	7.32 %	62 °
7ma	3.20 %	321 °
11va	1.8 %	111 °
13va	0.8 %	17 °

Tabla No.5 Contenido armónico del tablero de alumbrado

Al realizar un análisis de armónicas en el sistema eléctrico, se encontró que al comparar las distorsiones totales de voltaje (THD) en los buses del sistema contra las recomendaciones del IEEE [1] en todos los casos, estas últimas eran superadas

Bus	THD	Límite IEEE
Acometida	2.03 %	3%
Tablero A	12.91 %	5%
Tablero B	3.61 %	5%
Aire acondic.	12.90 %	5%

Tabla No. 6 Resultados de THD en voltaje comparados contra la recomendación del IEEE [1]

Puede verse que el contenido armónico en el sistema eléctrico ocasionado por las cargas no lineales y descritas en las tablas No. 4 y 5, se encuentra ya fuera de límites recomendados y ocasionando problemas.

Por ello, al recomendar un banco de capacitores se debe tomar en cuenta el efecto que este pudiera tener con las armónicas presentes.

Para tal fin se muestran dos opciones, la primera solamente considera la instalación de un banco de capacitores, mientras que la segunda hace uso de un filtro de armónicas que corrige el factor de potencia y además reduce el contenido de armónicas.

5.0 Dimensionamiento del banco de capacitores

Se dimensionó el banco de capacitores con la finalidad de corregir el factor de potencia en la acometida de un valor de 0.79 (medido y calculado) para llevarlo a un 0.90 (mínimo recomendado por la CFE)

En este caso se optó por instalar bancos de capacitores en el tablero A con una capacidad de 90 kVAR, mientras que en el tablero B el capacitor tiene un tamaño de 40 kVAR.

Al verificar que esos bancos corrigieran el problema de factor de potencia, se encontró lo siguiente:

Referencia	Voltaje p.u.	f.p.
Acometida	1.00	0.92
Tablero A	0.97	0.94
Tablero B	0.99	0.95
Aire acondic.	0.97	0.80

Tabla No.7 Voltaje y factor de potencia después de instalar bancos de capacitores

Hasta este momento, se ha solucionado el problema de factor de potencia, sin embargo, debido al contenido armónico que se tiene en la instalación, se debe poner atención a la respuesta que el sistema tendrá.

5.1 Efectos que el banco de capacitores tiene en conjunto con las armónicas presentes

Para obtener una visión de la respuesta del sistema al instalar los bancos de capacitores, entonces se realizó un barrido de frecuencia en los buses del sistema y se encontró que en todos los buses se tiene una resonancia en la frecuencia de 482 Hz (8va armónica), mientras que en tres de ellos también se tiene una resonancia en 381 Hz (cercano a la 6ta armónica)

En la figura No.2 se muestra la respuesta de la impedancia con respecto a la frecuencia en el tablero A

Del análisis de frecuencia realizado, se puede deducir que las armónicas presentes de orden cercano a las frecuencias en que se encontró resonancia tenderán a incrementarse de manera significativa, lo cual hace ver que el problema de factor de potencia fue solucionado sin embargo, el contenido

armónico se magnificó lo mismo que sus efectos en los equipos.

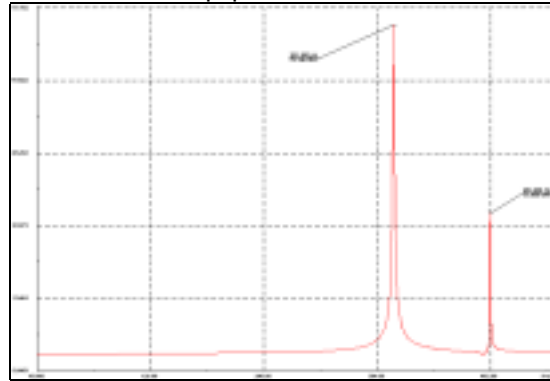


Figura No. 2 Respuesta a la frecuencia del tablero A

Con los bancos de capacitores instalados, se simuló digitalmente con la finalidad de obtener las distorsiones armónicas en corriente y en voltaje en los puntos mas importantes de la red, así como determinar de que manera pueden los bancos de capacitores verse afectados.

Bus	THD	Límite IEEE
Acometida	8.56 %	3 %
Tablero A	41.51 %	5 %
Tablero B	30.41 %	5 %
Aire acondic.	41.45 %	5 %

Tabla No. 8 Resultados de THD en voltaje comparados contra la recomendación del IEEE [1] al instalar los bancos de capacitores

Se procedió a analizar con atención los efectos que las armónicas generan en el banco de capacitores, para lo que se compararon los valores obtenidos de la simulación digital contra lo establecido en la recomendación del IEEE Std 18-1990 [2] y se obtuvo que :

Referencia	Nominal	Obtenido	Límite IEEE
Banco de capacitores del tablero A			
Corriente	90 A	350 A	162 A
Voltaje	440 V	463 V	484 V
Potencia	75 kVAr	280 kVAr	101.2 kVAr
Banco de capacitores del tablero B			
Corriente	96 A	240 A	173 A
Voltaje	220 V	227 V	242 V
Potencia	40 kVAr	80 kVAr	54 kVAr

Tabla No.9 Valores obtenidos en los bancos de capacitores comparados con la recomendación IEEE[2]

Se observa fácilmente que las recomendaciones del IEEE [2] son superadas en los dos bancos de capacitores, lo que ocasionará que la vida útil de los mismos, se vea reducida de manera importante.

6.0 Dimensionamiento del filtro de armónicas

Debido a que como se vió, el instalar los bancos de capacitores solamente corregía el problema del bajo factor de potencia pero, incrementaba el de la distribución de armónicas.

Por ello, se procedió a buscar una solución que considere ambos aspectos, es decir, corregir el factor de potencia y evitar la magnificación de las armónicas.

En este trabajo se empleó un filtro de armónicos que es de sintonía puntual en este caso para la 7ma armónica, básicamente se buscó aprovechar el banco de capacitores previamente dimensionado que corregía el problema de bajo factor de potencia.

Una vez que se contó con los parámetros nominales del filtro, los cuales básicamente buscan reducir el efecto de resonancia en las frecuencias en que se tienen corrientes armónicas generadas en el sistema bajo estudio (6ta y 8va), se realizaron simulaciones digitales en las que se obtuvieron los siguientes resultados

Bus	THD	Límite IEEE
Acometida	1.15 %	3 %
Tablero A	8.85 %	5 %
Tablero B	4.72 %	5 %
Aire acondic.	8.83 %	5 %

Tabla No. 10 Resultados de THD en voltaje comparados contra la recomendación del IEEE [1] al instalar los filtros de armónicas sintonizados para filtrar la 7ma

Como puede verse, la instalación de los filtros ayuda en gran medida a la reducción de la distorsión armónica total (THD) en el voltaje en los buses del sistema, ya que de acuerdo a lo mostrado en las tablas No. 6 y 10, se observa una reducción después de la instalación de los filtros.

7.0 Conclusiones

Al término de este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

- Es necesario hacer recomendaciones para dimensionamiento de equipos considerando el efecto que las armónicas presentes puedan tener en la respuesta del sistema eléctrico.

- La localización del banco de capacitores es muy importante y debe analizarse de manera detallada, ya que dependiendo de su correcta ubicación y dimensionamiento se tendrá un efecto en la distribución de las armónicas.
- Se debe recurrir a hacer un análisis de ingeniería mas detallado con la finalidad de proporcionar la solución más adecuada a cada caso en particular.
- Es importante resaltar que la circulación de armónicas no será eliminada totalmente, solamente se reducen a ciertos límites dentro de los cuales no se ocasionarán problemas secundarios a los equipos.

8.0 Referencias

- [1] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Std 519-1992
- [2] IEEE Standard for shunt power capacitors, Std 18-1990
- [3] Dugan, McGranagan, Beaty, Electrical Power Systems Quality, Edit. Mc Graw Hill, 1996
- [4] Arrilaga, Bradley, Bodger, Power Systems Harmonics, Edit John Wiley, 1990
- [5] Electrotek , Notas del curso de Calidad de la Energía, Knoxville, Tennessee, 1997
- [6] UANL FIME, Notas del curso avanzado de análisis de sistemas eléctricos de potencia y calidad de la energía, 2001

Biografía

Luis Guillermo Espinoza Mendoza

Ingeniero Electricista egresado de la ESIME en 1993, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la SEPI-ESIME del Instituto Politécnico Nacional en el año de 1997.

Ha trabajado principalmente realizando análisis de sistemas eléctricos industriales enfocado a encontrar mejoras en la operación de los mismos.

Sus áreas de interés son el análisis de la operación de los sistemas eléctricos y la calidad de la energía eléctrica.

Actualmente labora en Funken Ingenieros S.A. de C.V.