

## Caso de Estudio

Compensación reactiva y filtrado de armónicas para manufactura de moldeo de plástico.

### 1. INTRODUCCIÓN

La calidad y eficiencia energética se ven frecuentemente afectadas en las plantas de moldeo e inyección de plástico. Las máquinas de moldeo utilizadas en el proceso demandan una gran cantidad de potencia reactiva y producen en su mayoría quinta armónica h5 la cual afecta gravemente las instalaciones eléctricas, específicamente calentamiento en transformadores y deterioro en el aceite, así como sobrecalentamiento en motores y alimentadores.

Por medio de la implementación de proyectos de compensación reactiva y filtrado de armónicas, es posible aumentar la eficiencia de los procesos, aumentar el tiempo de vida de los equipos, mejorar la regulación de tensión, disminuir el costo de producción, evitar la generación de desperdicios y paros no deseados.

### 2. ANTECEDENTES

Una planta de moldeo de plástico ubicada en la ciudad de Tijuana cuenta con un gran número de máquinas de inyección y moldeo de plástico. Las máquinas demandan una potencia reactiva dinámica importante, además, generan quinta armónica h5 provocando calentamiento en los conductores y el transformador.

Debido a la alta demanda de potencia reactiva (kVAr), la planta recibía constantemente penalizaciones por parte del suministrador de energía, por lo que la planta requería de una solución que eliminara esa penalización, disminuyera el nivel armónico y representara una mejora en la eficiencia del sistema eléctrico.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema eléctrico de la planta puede describirse como se muestra en el diagrama simplificado siguiente.

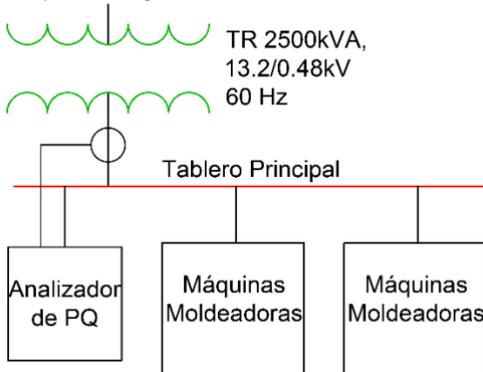


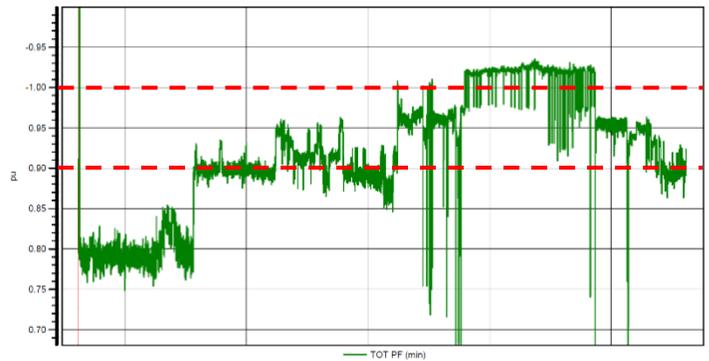
Figura 1.1 Sistema eléctrico de planta moldeadora de plástico

La demanda dinámica de reactivos de las máquinas moldeadoras exige la implementación de un equipo dinámico para suministrar la potencia reactiva, a su vez, la presencia de un nivel armónico alto requiere de un buen análisis para la selección del equipo para evitar la resonancia paralela con el sistema eléctrico.

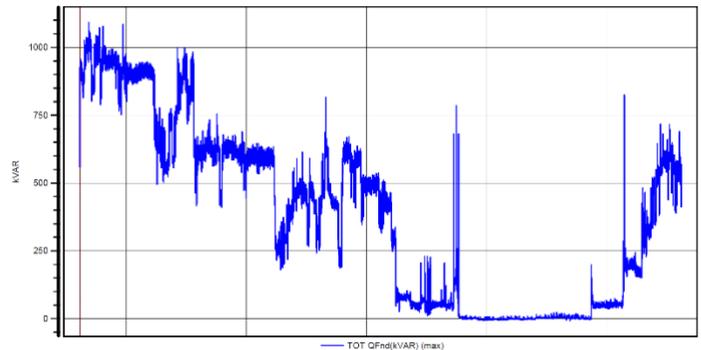
Para diseñar la solución correcta, fue necesario llevar a cabo un estudio de calidad de energía durante una semana para recolectar suficiente información sobre los parámetros eléctricos de la subestación de la planta.

### 4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

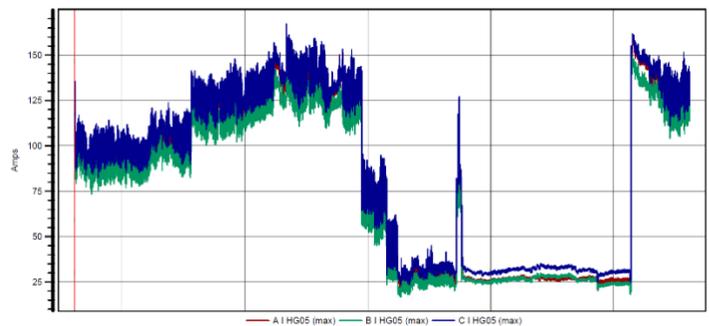
Una vez obtenidas las mediciones del analizador de calidad de energía, se realizó un exhaustivo análisis de calidad de energía a la instalación. Basado en la información recolectada se determinó la cantidad máxima de potencia reactiva demandada por el conjunto de maquinarias moldeadoras, la cual alcanzaba 1,050 kVAr con una corriente de 160 amperes de quinta armónica h5. El factor de potencia variaba dinámicamente al igual que la demanda de reactivos.



Gráfica 1.1 Factor de potencia en el transformador principal.



Gráfica 1.2 Potencia reactiva máxima en el transformador principal.



Gráfica 1.3 Corriente armónica H5 en el transformador principal.

## 6. RESULTADOS

Se instaló un filtro pasivo dinámico de 1140 kVAr con 15 pasos de 76 kVAr en una rotación 1:2:2 con reactores de 7%, conectándolo paralelo al transformador principal de 2500 kVA en 480V 60Hz.

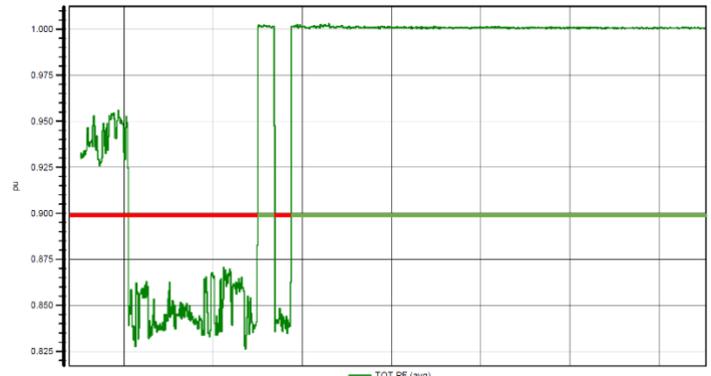


Figura 1.2 Imagen del equipo instalado

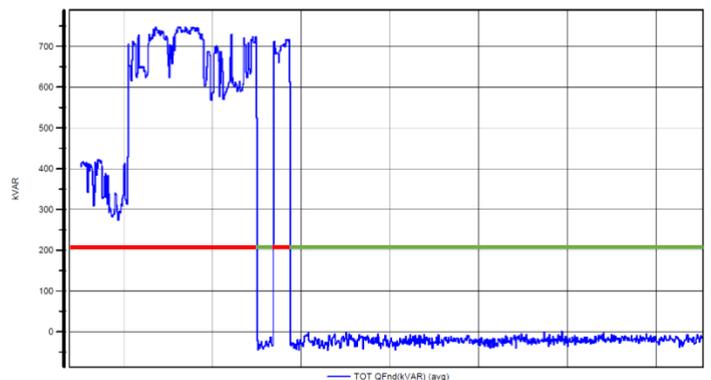
Se colocó un medidor de calidad de energía Clase A externo para validar la operación correcta del equipo. Los resultados fueron los siguientes:

■ Filtro apagado

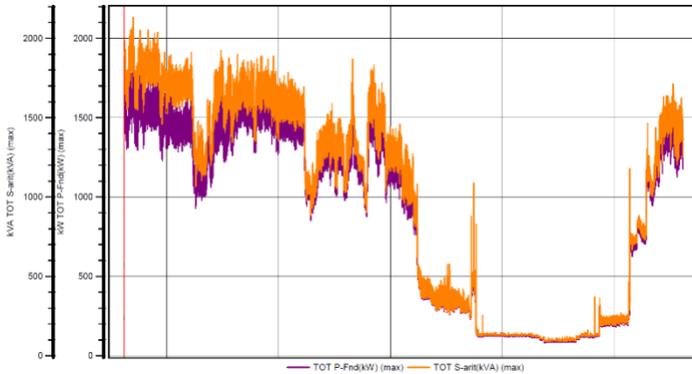
■ Filtro encendido



Gráfica 1.5 Factor de potencia con filtro trabajando.



Gráfica 1.6 Potencia reactiva kVAr con equipo funcionando



Gráfica 1.4 Potencia Activa kW v.s. Potencia Aparente kVA.

En la gráfica anterior 1.4, se puede observar una diferencia entre la potencia activa con demandas máximas de 1700 kW y la demanda aparente con valores máximos de 2100 kVA, esto debido al bajo factor de potencia y la alta demanda de potencia reactiva.

Los valores de los parámetros de la calidad de energía que se pretenden mejorar en este proyecto se muestran en:

Parámetro	Valores
Factor de Potencia	0.82i
Corriente Promedio	1,700 A
Voltaje Promedio	477 VAC
Potencia reactiva máxima	1,050 kVAr
Quinta armónica h5 en amperes	160 A

Tabla 1.1 Parámetros iniciales.

## 5. DISEÑO DE SOLUCIÓN

Con base en el análisis realizado, se seleccionó un filtro pasivo de rechazo operado por medio de tiristores con tiempo de respuesta de 1/4 de ciclo de 1140 kVAr para mantener el factor de potencia en 1.0i el 95% del tiempo y reducir la distorsión armónica total %THDi, en especial la 5ta corriente armónica en un 30%.

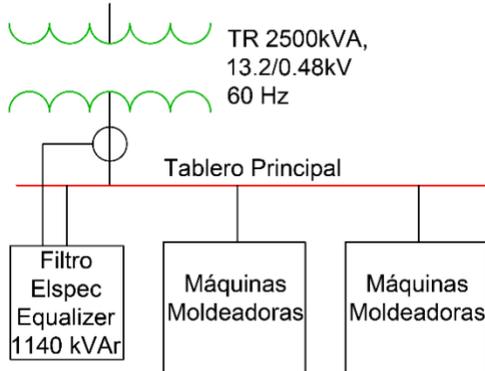


Figura 1.2 Solución propuesta.

El equipo seleccionado está específicamente diseñado para compensar este tipo de carga reactiva dinámica, evitando resonancias paralelas y filtrando cierto porcentaje de corrientes armónicas.

El equipo seleccionado utiliza rectificadores controlados por silicio (SCR por sus siglas en inglés), interruptores electrónicos y un sofisticado control de algoritmos que considera un verdadero factor de potencia y todas las armónicas. Este equipo calcula y responde a demandas de potencia reactiva que sean de mínimo un ciclo de trabajo (<20ms a 50Hz, <16.7ms a 60Hz).

Los pasos del equipo entran en el cruce por cero volts para no generar transitorios de voltaje que afecten al sistema o a las celdas capacitivas. Cuenta con modulo de escaneo de celdas capacitivas, lo que hace que rote los pasos capacitivos y trabajen la misma cantidad de tiempo todos, alargando la vida útil de los mismos.

Para la Tabla 1.3 se usaron los valores con y sin el filtro cuando la potencia activa se encuentra entre los 1.2 y 1.3 MW, mostrando las diferencias en los parámetros.

**Tabla resumen de parámetros proyecto**

Parámetro	Apagado	Encendido
Factor de Potencia	0.84i	1.0i
Potencia Aparente	1,441 kVA	1,257 kVA
Voltaje promedio	482 Vrms	492 Vrms
Potencia reactiva kVAr	1,050 kVAr	0.00 kVAr
Quinta armónica h5	111 A	53 A

Tabla 1.3 Operación con y sin filtro

## 7. BENEFICIOS DEL PROYECTO

La instalación del filtro pasivo dinámico, además de aumentar el factor de potencia, trajo consigo múltiples beneficios para la planta:

- Se mejoró el factor de potencia a 1.0i aún con variaciones dinámicas de carga.
- Reducción de kVA, además del ahorro generado por mejorar el factor de potencia.
- Ayudó a estabilizar el voltaje, manteniendo variaciones menos abruptas.
- Reducción de carga en el transformador al disminuir la demanda aparente igualándola a la potencia activa
- Disminución en un 50% de la corriente armónica h5.

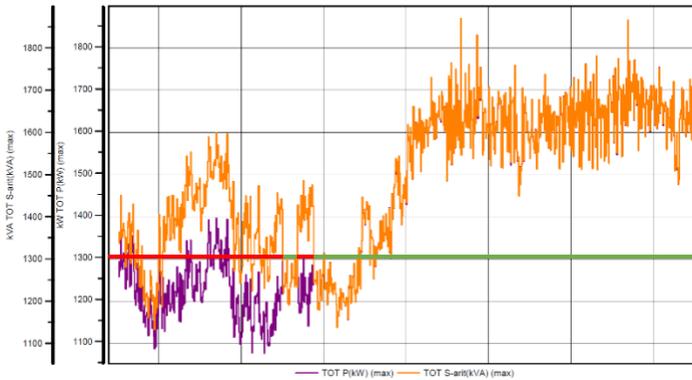
## 8. CONCLUSIÓN

La compensación reactiva en plantas industriales es de suma importancia ya que trae consigo beneficios eléctricos muy importantes que ayudan a la producción a incrementar su eficiencia y evitar paros innecesarios, así como obtener ahorros económicos importantes.

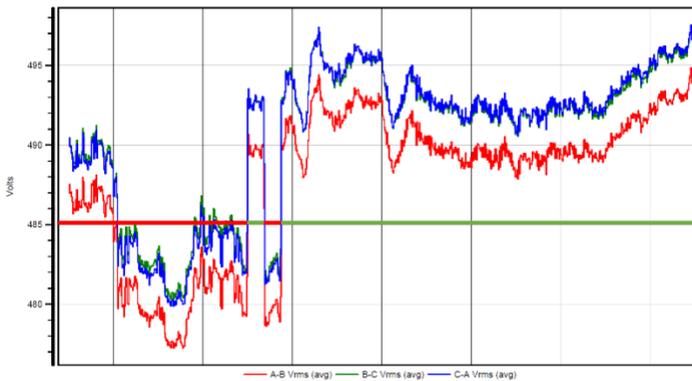
La selección de las soluciones hoy en día es más compleja y requiere de un mayor análisis ya que los procesos de las plantas contienen maquinaria más sofisticada, la cual genera la mayor parte de los problemas, pero a su vez requiere de una calidad de energía más precisa.

La calidad de los equipos de medición y la experiencia de los ingenieros en seleccionar los equipos correctos que existen hoy en el mercado es crucial para lograr los objetivos planteados en cada proyecto.

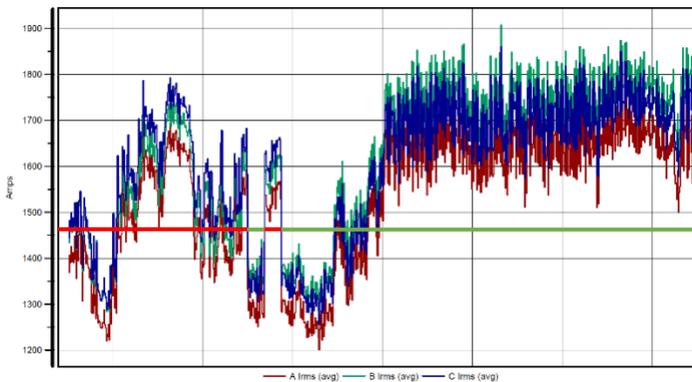
En el presente caso de estudio se presenta una solución de un filtro pasivo dinámico operado por medio de tiristores el cual logra compensar potencias reactivas con una variabilidad de alta velocidad, además de reducir considerablemente la distorsión armónica total %THDi, reducir la potencia aparente y mejorar la regulación de tensión.



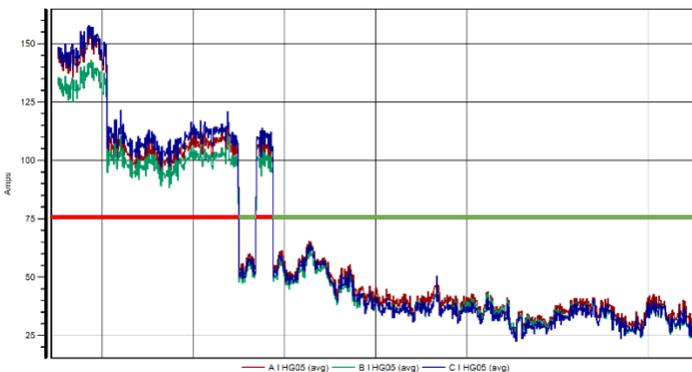
Gráfica 1.7 Potencia Activa kW v.s. Potencia Aparente kVA



Gráfica 1.8 Voltaje VRMS en transformador



Gráfica 1.9 Corriente IRMS en el transformador con equipo funcionando



Gráfica-1.10 Corriente armónica h5 con filtro

