

### En este documento:

- ♦ Sumario
- ♦ Perfil de carga del triturador de metal de 3,000 hp.
- ♦ Descripción del Equalizer-T y secuencia del modo de control.
- ♦ Diagrama eléctrico básico de la instalación del sistema.
- ♦ Comportamiento del Equalizer-T durante todas las condiciones de carga.

### Sumario

Una gran planta de reciclar metal cerca de Pittsburgh, PA, procesa miles de toneladas de metal recuperado ("chatarra") cada año utilizando un triturador de metal de 3,000hp (2,237 kW). A pesar de que la mayor parte de la chatarra proviene de automóviles usados, la planta también procesa muchas otras formas de chatarra, incluyendo refrigeradores y lavadoras así como otros equipos domésticos similares y desperdicios metálicos industriales grandes como tuberías, tambores de acero, etc. La trituración de la chatarra es una parte extremadamente importante del proceso de deshacerse y reciclar los productos y equipos metálicos tanto domésticos como industriales.

#### Triturador de metales típico



La inmensa mayoría de las máquinas de triturar metales son operadas a mediana tensión, esto es, 2,400 Voltios a 13,200 Voltios, con motores cuyas potencias varían entre 2,000 hp (1,500 kW) hasta 8,000 hp (5,966 kW). Bajo condiciones de plena carga, esas máquinas pueden operar al 165 % de su potencia nominal con fluctuaciones considerables de su carga dinámica. Este Estudio de Caso presenta las mediciones *antes* y *después* de una instalación con un triturador de 3,000 hp conectado a la red a través de un transformador dedicado de 5.0 MVA, 13.2kV/4.16kV. Un sistema de compensación dinámica de potencia reactiva, Equalizer-T (EQ-T) de 4.5 MVAR fue

instalado y conectado directamente a la fuente de alimentación eléctrica del triturador usando un transformador de subida ("step-up transformer") de 5.0 MVA, 600V/4.16kV (Ver Figura 1, Página 2). El EQ-T fue suministrado en dos partes iguales (iguales cantidades de Mvar) para ofrecer redundancia tanto para propósitos de mantenimiento anual como para atención de averías.

#### Perfil de carga del triturador de metal de 3,000hp

El triturador reposa a aproximadamente el 30 % de su plena carga, i.e., 1,000 hp, pero los niveles de potencia se incrementan dramáticamente con el arranque del triturador. Los incrementos de carga típicos son del 150 % al 200 % dentro de tres a cuatro ciclos, esto es, 50 a 67 milisegundos. El grado de fluctuación dinámica de la carga es directamente proporcional al tipo de material que está siendo procesado: esto es, mientras más pesado y duro es el material mayor es la potencia que se requiere.

El consume de potencia reactiva, kvar, también fluctúa dinámicamente variando de 200 a 250 kvar cada tres o cuatro ciclos de red aun durante períodos de tiempo con poca carga. Cuando el triturador esté operando a su carga pico plena, medido a 9,825hp, esto es, 7,235kW, se observan picos de demanda de potencia reactiva de 4,400 Mvar (Ver Figura 3, Página 3). Finalmente, esas fluctuaciones de potencia resultan en un grado inaceptable de modulación de voltaje (parpadeo y/o "sag"), lo cual puede ser transferido a la red local y afectar otros consumidores que se encuentren en las cercanías.

Es imposible reducir la demanda pico en kilowatt del triturador. Por lo tanto, sin incrementar la capacidad del transformador de alimentación hasta que al menos coincida con el consumo pico de kVA, que en este caso es de 8.3 MVA, a la vez que adicionamos sistemas de compensación dinámica, no es posible eliminar los "sags" de voltaje. Sin embargo, si quitamos dinámicamente solo el componente de potencia reactiva, entonces la potencia total consumida, kVA, será minimizada y la modulación de voltaje puede ser limitada a un nivel aceptable.



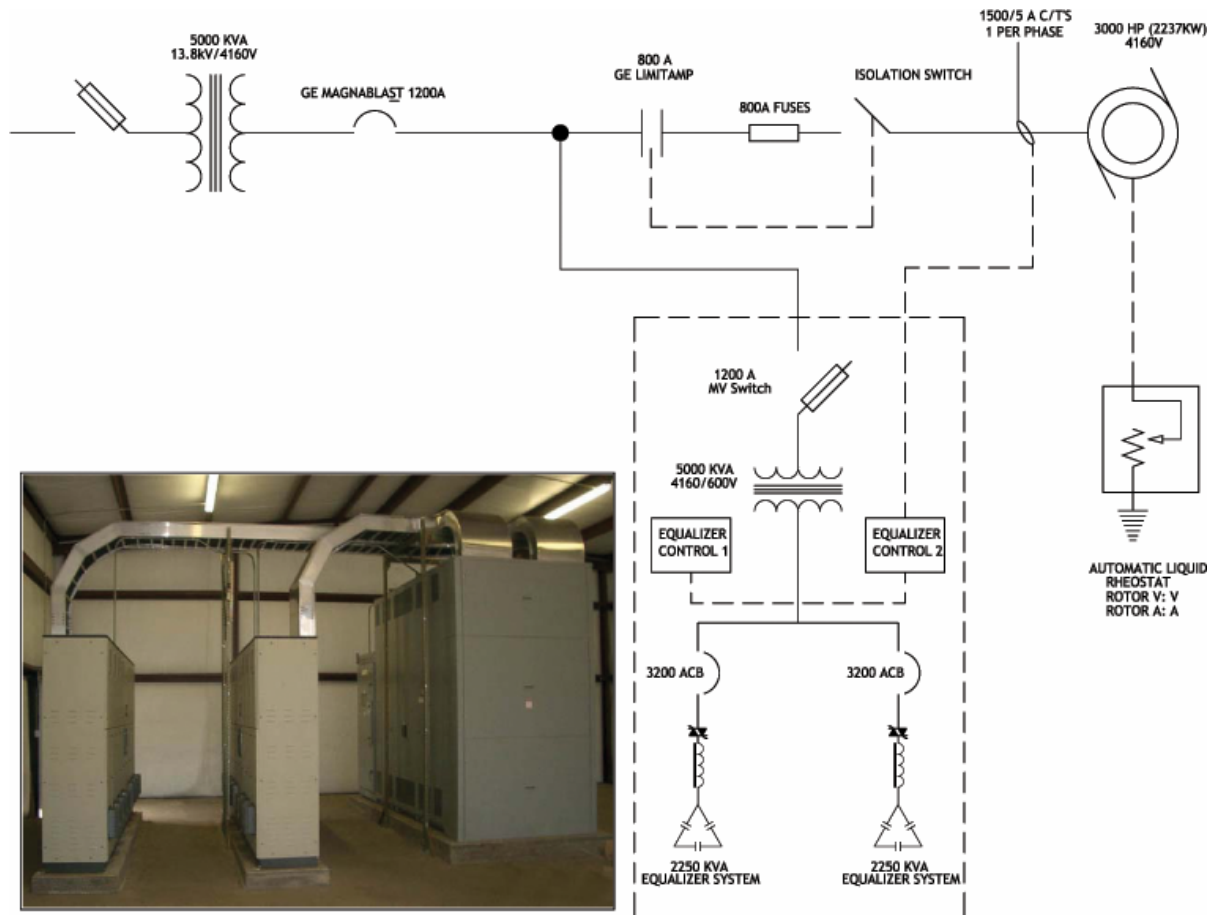
## La descripción del sistema Equalizer-T

Los sistemas EQ -T para esta aplicación fueron diseñados para operar en una base de "carga compartida". Cada uno de los sistemas de 2.25 Mvar es responsable por el 50 % de la carga del triturador. Este método extiende el tiempo de vida de los sistemas e incrementa la confiabilidad general. Cualquier sistema puede ser re-programado en caso de rotura o apagado por mantenimiento para operar en el modo de "plena carga". Si la mitad del sistema esta fuera de servicio, el resto de la unidad es capaz de responder al 70 % de la demanda de potencia reactiva del triturador.

Cada sistema EQ-T conecta o desconecta pasos ("steps") basados en algoritmos de control sofisticados los cuales consideran el Factor de Potencia Verdadero ("TPF": "True Power Factor") tomando en consideración todas las armónicas, hasta la 63<sup>va</sup>. inclusive, la demanda de potencia reactiva, kvar, y el voltaje a 4.16 kV. El TPF y los kvar son monitoreados y usados para la compensación de potencia reactiva, mientras que las funciones de control de voltaje pueden también ser utilizadas en dependencia de los requerimientos de la compañía suministradora de energía eléctrica ("utility").

Figura 1: Diagrama eléctrico básico de la instalación del sistema.

Sistema 2 x 2.25MVar EQ-T con transformador "Step-up" de 5MVA e Interruptor en MV.



Para poder prevenir simultáneamente los apagones provocados por el disparo por sobre-corrientes del interruptor principal de 1,200 Amperes del triturador y además cumplir con los requerimientos de parpadeo ("flickering") de voltaje impuesto por el "utility", el sistema EQ-T está conectado en paralelo entre el interruptor y el triturador. Los transformadores de corriente ("CT") para el monitoreo de la potencia del sistema para el control dinámico de la potencia reactiva están instalados en los cables de potencia que alimentan al triturador. La información que es tomada por esos CT es a su vez alimentada a cada uno de los dos

controladores del sistema EQ-T para habilitar ya sea el control compartido de carga combinada o la operación independiente, aislada, de uno de ellos.

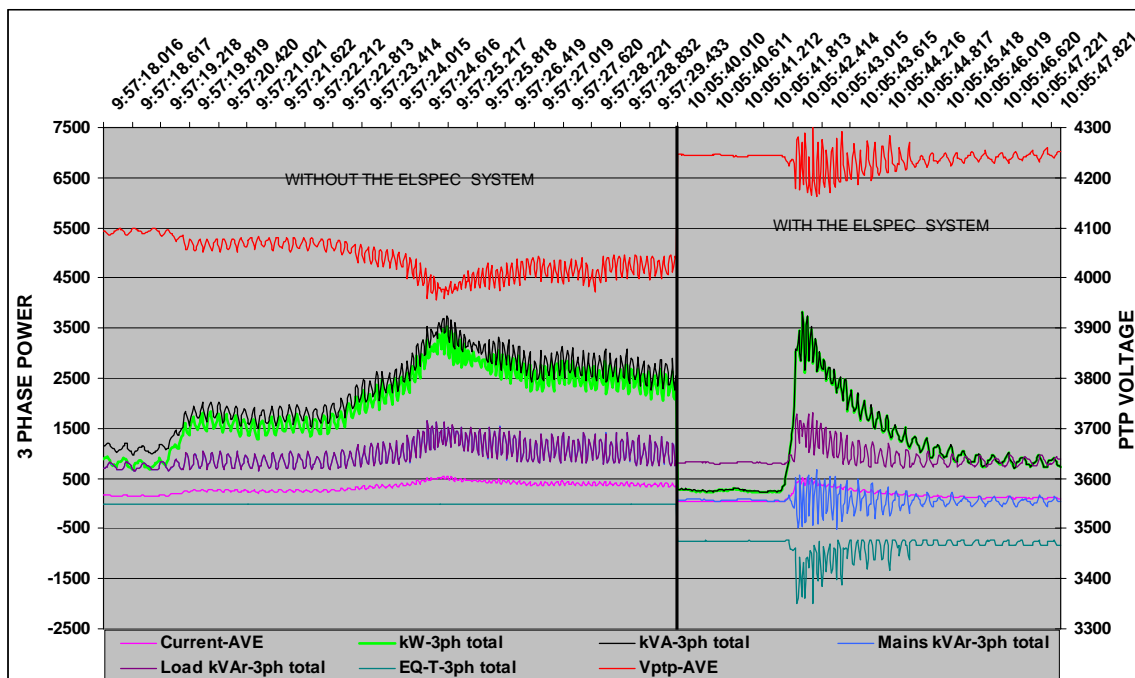
Adicionalmente pueden habilitarse funciones de control posteriores para cada sistema EQ-T que permitan al sistema (o a los sistemas) compensar para el transformador principal "aguas arriba" y suplementariamente reducir pérdidas en el sistema.

### Comportamiento del Sistema EQ-T: Condiciones de cargas variables

La Figura 2 es una combinación de dos secuencias de mediciones registradas. La primera es una medición de 12 segundos sin el EQ-T en operación y la segunda, una secuencia de 10 segundos con el sistema EQ-T operando. Cada período de medición usa una velocidad de muestreo de 60 muestras por segundo.

Las mediciones detallan la naturaleza dinámica de la carga del triturador de metales cuando pasa de la operación de "reposo" a la de "trituración". En el primer período de medición, sin el EQ-T, el consumo de potencia real total kW se dispara por más de 2.6 MW en menos de 6 segundos. En la segundo período de medición, ahora con el sistema EQ-T de Elspec conectado y operando, el consumo de potencia real total kW se dispara aun más dramáticamente, llegando a crecer hasta más de 3.5Mw en menos de 2 segundos. En cada caso, los requerimientos de kW fluctúan cada dos o tres ciclos por cantidades de +/- 250 kW mientras que el consumo de potencia reactiva, kvar, fluctúa por una cantidad de +/- 500kvar a la misma velocidad.

Figura 2: Modos de operación del triturador con y sin el sistema Elspec EQ-T



Como se puede ver, el incremento de la carga dinámica impacta directamente el voltaje de la fuente de una manera negativa. El voltaje sin carga en el triturador promedia aproximadamente 4.25 kV. El primer período de medición se inicia con el triturador ligeramente cargado y rápidamente crece hasta una carga relativamente grande, 3.5MW y en ese momento el voltaje del triturador cae ("sag") a 3.96kV, lo que significa un "sag" general de voltaje de 290V equivalente a un 7%. Aunque los consumos generales de kW y kvar son ligeramente superiores durante el segundo período de medición, con los sistemas EQ-T funcionales, el "sag" de voltaje es reducido significativamente a solo 80 V, sólo 2% por debajo del voltaje sin carga!

Las Figuras 3 & 4 en la página siguiente exponen un período de mediciones de 2 minutos durante los cuales ocurre la carga más alta registrada en el triturador de 3,000 hp después de la instalación de los sistemas EQ-T de Elspec. Durante este evento, la demanda se disparó a 9,825 hp, lo cual representa el 327.5% de la potencia nominal del motor. Aunque el consumo de potencia aparente, kVA, en el motor, se dispara a 8.3MVA, el

“utility”, en la acometida principal, ve una demanda de cerca de 1.0MVA menos debido a los sistemas EQ-T de Elspec.

Adicionalmente, a pesar de que el consumo de potencia se disparó más de tres veces el valor nominal del motor, los “sags” de voltaje fueron aun así limitados a menos de un 3% de los 4,160 Voltios que es el voltaje de operación nominal del motor. La Figura 4 expande el pico de carga de la Figura 3 (ambas en página cinco) para mostrar más detalles e ilustra la efectividad y la operación extremadamente exacta de los sistemas EQ-T. La demanda en kVA del “utility” es reducida hasta igualar el consumo de kW del motor del triturador, reduciendo así efectivamente a cero la demanda de kvar promedio y manteniendo el factor de potencia promedio en valor unitario: 1.0

