"cement plant power"

la energía en las fábricas de cemento

ANTHONY C. LORDI

Pit and Quarry, Enero, 1958

611 - 50

El uso cada vez mayor del cemento portland en los programas de construcción de edificios y carreteras ha provocado un aumento desorbitado de la industria del cemento. Esto se ha manifestado, tanto por el aumento de producción de las fábricas existentes como por la construcción de nuevas plantas. Las fábricas norteamericanas de cemento están muy dispersas por todo el país, puesto que los materiales calcáreos (calizas y margas) y arcillosos (arcillas y esquistos), con los cuales se fabrica el cemento, se encuentran en grandes depósitos distribuidos por casi todas las regiones de los EE. UU. El transporte económico de estos materiales baratos en casos excepcionales puede sobrepasar las 300 millas (480 km) desde la cantera.

Las fábricas de cemento necesitan una relación de energía suministrada por hombre de 100 es a 1. Las machacadoras, molinos, hornos, grúas y transportadores tienen motores eléctricos de arrastre independiente, y esto es lo que caracteriza el equipo eléctrico que se precisa. Los molinos de bolas con motores de hasta 2.000 CV muelen el material a la finura de los polvos de talco. Por cada barril de cemento se necesitan 30 kW. hr de energía eléctrica (un barril equivale a cuatro sacos de 94 libras = 176 kg).*

Las fábricas corrientes producen de 2 a 3 millones de barriles anuales (360.000 a 540.000 t), y algunas fábricas producen hasta

unos 12.000.000 de barriles (unas 2.170.000 t) de cemento portland anuales. Para una producción de 3.000.000 de barriles se requiere una subestación de 15.000 kVA.

Distribución de la fábrica

En las antiguas fábricas de cemento, que utilizaban hornos de poca longitud, el calor de los gases de salida se recuperaba para generar energía. La tendencia actual es emplear hornos muy largos y utilizar los gases de salida para precalentar el material. Se está abandonando el sistema de producir con medios propios la energía, optándose por adquirirla, lo cual resulta más barato.

En la figura 1 puede verse el sistema de distribución de energía en una fábrica de cemento portland. Las tensiones de las redes eléctricas oscila entre 22,9 y 115 kilovoltios, mientras que las fábricas con generadores propios producen corriente trifásica a 2.400 voltios y 60 períodos. Las tensiones de la red interior de una fábrica son de 2.400 y 4.160 voltios. Con estas tensiones, la energía se distribuye económicamente; las caídas de tensión son aceptables, y reducidas las pérdidas de energía desde los generadores a los puntos de consumo. Estas tensiones, además, resultan económicas para los motores de gran potencia. En subestaciones de más de 7.500 kVA es preferi-

* Unos 170 kW. hr por tonelada de cemento.

Fig. 1.—Sistema típico de distribución de una fábrica de cemento

Fig. 2.—Costos relativos de las subestaciones

ble una red de distribución interior a 4.160 V, en lugar de a 2.400 V, puesto que se economiza cobre y se reducen las pérdidas de energía; además, la tensión se regula mejor y los interruptores a utilizar pueden ser más sencillos. En el sistema de distribución a 4.160 voltios, el neutro se conecta a tierra, directamente o a través de resistencias, para reducir las extra-corrientes, darles tierra o por condiciones de regulación. Los sistemas existentes a 2.400 voltios se conectan normalmente a tierra; y la tendencia es realizar una neutralización a tierra donde sea factible.

En la fig. 2 puede verse un gráfico comparativo entre una subestación de doble terminal ⁽¹⁾; terminal sencillo, con tres transformadores monofásicos ⁽²⁾, y otro terminal, también sencillo, con transformadores trifásicos ⁽³⁾. En lo que se refiere al tipo de sub-

estaciones que normalmente se precisan en una fábrica de cemento, es preferible una subestación de doble terminal por su mayor grado de continuidad y porque permite efectuar aislamientos periódicos y descongestión de ramales sin corte total de la energía. En la red de la subestación, para reducir las pérdidas en los aislamientos, debido a la acumulación de polvo de cemento, se elige un aislamiento de categoría inmediata superior; cuando ello es posible se ubica la subestación en aquel lugar de la fábrica por donde azotan los vientos reinantes, con el fin de evitar los problemas que crea el polvo.

Hay limitacorrentes para la protección de circuitos de alimentación de los distintos departamentos de fabricación. Los cables enterrados van por entubaciones, que llegan a los cubículos de las entradas de línea

Subestación de 15.000 kVA para una fábrica de cemento

de los distribuidores de baja tensión o en los dispositivos de puesta en marcha de los motores de alta tensión, situados en los diferentes departamentos de la fábrica. El dispositivo de distribución de 5 kV de una fábrica de cemento típica comprende dos interruptores para aislar el circuito de entrada y limitacorrientes independientes para la alimentación de (a) cantera y trituradoras; (b) silos y sección de ensacado; (c) departamento de acabado; (d) departamento de hornos; (e) sección de crudos; (f) instalaciones auxiliares, y (g) conexión de colector para el generador, cuando lo hay. En las fábricas de cemento portland por vía húmeda hay instalado frecuentemente un gene-

rador de emergencia acoplado a un motor diesel. Es muy necesario producir energía en el caso de que falte ésta, para que los compresores mantengan el suministro de aire comprimido para la agitación de los tanques de almacenamiento y los espesadores de pasta. Sin la agitación con aire, el material en suspensión se sedimenta 30 minutos aproximadamente. Para poder quitar este material normalmente se requiere martillos neumáticos.

El sistema de distribución generalmente es radial; sin embargo, se está generalizando un sistema radial selectivo, que da muy buenos resultados, en el que la entrada de corriente puede hacerse por diversos pun-

tos. Si se utiliza el sistema radial simple, a base de cables multiplados con sección de cobre en exceso, la reparación de uno de ellos puede realizarse con facilidad.

Centrales eléctricas

En el dispositivo general de la fábrica es preferible la utilización de centrales de energía con red interior a 480 voltios, localizadas en las dependencias de trabajo. Estas centrales eléctricas son de tipo terminal sencillo y consisten, esencialmente, en un compartimiento de línea de entrada con un interruptor y fusibles; un transformador, aislado por aire o mediante inertes, y un compartimiento de interruptores de baja tensión acoplados. Una central con transformadores refrigerados por aire ofrece la ventaja de su ligereza y sencillez de los soportes y elimina los peligros de los trans-

formadores rellenos con líquidos. Sin embargo, si los transformadores tienen que estar en sitios con mucho polvo o muy húmedos es preferible un transformador neutralizado. La tendencia actual es localizar las centrales de energía en locales con lige-

Transformador con refrigerador por inerte de 750 kVA para la alimentación de un Centro de Control

Fig. 3.—Costos relativos de las centrales eléctricas

ra sobrepresión y utilizar transformadores secos.

En la figura 3 se indican los costos relativos de las centrales de energía en función de su capacidad. Los centros de energía eléctrica más económicos son los de 750 a 1.500 kVA.

La mayoría de las centrales se construyen para trabajar con una tensión de secundario de 480 V. Como consecuencia del costo adicional de cables y equipos y los inconvenientes que presenta la regulación de un sistema a 240 V, en contadas ocasiones es justificable el empleo de esta baja diferencia de potencial.

Los desconectores de los circuitos aéreos de baja tensión en las centrales eléctricas normalmente están en los centros de control de la alimentación, en donde se concentra el control para la regulación de grupos de motores; esto facilita el mantenimiento y permite una continuidad en el funcionamiento, mediante el aislamiento de los procesos de fabricación independientes.

Fig. 4.—Círculo de distribución de una cantera

Centros de control

Es preferible que los aparatos de control de los motores estén agrupados, en lugar de montar independientemente las unidades de control. El agrupar los aparatos

Central doble terminal bajo techado de 480 voltios y 2.000 kVA

tos de regulación facilita la interconexión y el cableado, sabiéndose perfectamente por donde van las líneas de acometida. Para regular cada motor es preferible utilizar arrancadores combinados con limitadores de corriente con objeto de aislar los cortes, rápida y seguramente, sin que exista la posibilidad de que puedan quedar con una sola fase. Dependiendo de la rigidez del sistema de distribución de la fábrica, la aplicación de los centros de control, conectados a las centrales eléctricas con capacidades superiores a los 500 kVA a 240 V, ó 750 kVA a 480 V, requiere una gran supervisión de las células de protección en los dispositivos de control. Pueden necesitarse impedancias adicionales o fusibles limitadores de corriente para cortar las sobretensiones, además de los interruptores usuales de los circuitos aéreos.

La ubicación preferida del centro de control es un local a sobrepresión, adyacente a la zona de trabajo. Los operadores de las máquinas disponen de tableros de mandos, con protección contra el polvo, fuera de la zona de fabricación.

Distribución de la cantera

En las canteras de las fábricas de cemento se utilizan excavadoras, dragalinas, bombas, perforadoras y otras máquinas portátiles accionadas por energía eléctrica. En la fig. 4 se muestra un diagrama simplificado del sistema de distribución en una cantera.

Como la impedancia del suelo es ampliamente variable, precisa una conexión a tierra para la seguridad del personal. Los fallos de tierra quedan limitados a un máximo de 25 amperios, mediante una resistencia de neutro conectada al secundario del transformador de la subestación de la cantera. Cuando la energía para la cantera viene de la subestación de la planta a 4.600 V, puede emplearse un transformador independiente para hacer factible la conexión a tierra del sistema de distribución

Panel de mandos para motores auxiliares de 440 voltios

de la cantera. El lado conectado a tierra de la resistencia del neutro (dada tierra independientemente de la tierra de la subestación para reducir al mínimo las oscilaciones del primario e interrupciones en el cable de la tierra de seguridad) se conectará a los cables de tierra que van parale-

lamente con el cable de alimentación desde el interruptor del circuito secundario del transformador. Estos cables de tierra se conectan a los bastidores de los equipos portátiles para que permanezcan al potencial de tierra establecido por la parrilla de tierra de la subestación.

Las bajas tensiones por faltas de tierra, registradas tanto en los dispositivos de interruptores de 4.160 V como en los centrales de 180 V, son detectadas por los transformadores tipo «ventana», de flujo compensado, provistos de relés muy sensibles para el rápido aislamiento de las fuentes de alimentación que fallen. Las tensiones entre las carcasas de las máquinas y la tierra quedan limitadas a, aproximadamente, el producto de la máxima corriente por falta de tierra (limitada por la resistencia de neutro) y la impedancia del cable de tierra. Esta tensión es, normalmente, inferior a los 100 V.

Donde existen en servicio transformadores conectados en triángulo, el sistema de

distribución de la cantera puede cambiarse por un sistema de seguridad a tierra, añadiendo un transformador con conexión a tierra en zigzag, una resistencia de neutro y un sistema adecuado de desconexión. Se evitarán los transformadores en estrella, a menos que se emplee un arrollamiento terciario en triángulo para reducir al mínimo las tensiones armónicas y asegurar el escape de corriente a tierra cuando se produce una falta de ésta.

Movimiento de las máquinas

La potencia de los motores en las fábricas de cemento varía desde los de fracción de caballo para los alimentadores, hasta los de 2.000 caballos para los grandes molinos de bolas. Los motores de inducción de jaula de ardilla, de reducido precio y de conservación barata, son muy adecuados para las fábricas de cemento. En las modernas fábricas de cemento se utiliza muy poca energía de corriente continua.

El movimiento del horno y de los alimentadores se regula mediante motores de corriente continua con corriente regulada, con objeto de poder funcionar dentro de los márgenes de velocidad requeridos. Sin embargo, estos motores tienen una potencia que, totalizada, es inferior a un 5 % de la total de la fábrica.

Los grandes molinos de bolas son accionados casi exclusivamente por motores sincrónicos. Estos motores tienen la ventaja de ser muy eficaces y baratos para la cantidad de fuerza y velocidad que desarrollan, y pueden servir para corregir el factor de potencia.

Los actuales sistemas de energía son normalmente de suficiente capacidad para permitir la aplicación de motores sincrónicos, con mucho par, directamente conectados, suministrando el impulso necesario con bajo factor de potencia a una regulación de voltaje aceptable.

Para realizar la carga y descarga de bolas y otras operaciones de conservación en los grandes molinos, es preciso colocarlo en adecuada posición. La marcha a pequeña velocidad (1/360 de la velocidad sincrónica) se consigue utilizando un pequeño

Caseta portátil de distribución de energía para una excavadora eléctrica

Motor sincrónico de 1.250 CV para un molino de bolas de molienda final

motor, de avance lento, de corriente continua (20-40 kW).

La caliza hay que reducirla de grandes trozos de piedra, tal como sale de cantera, a un tamaño de 1 pulgada (25,4 mm) en dos etapas. La trituración primaria, primera- etapa en el proceso de reducción, se realiza con molinos de mandíbulas, giratorios o de rodillos. Estos trituradores tienen gran inercia, dispositivos de puesta en marcha bruscos y grandes esfuerzos alternativos con repeticiones frecuentes.

La trituración secundaria se realiza con molinos de martillos, machacadoras o molinos de conos. Motores especiales de jaula de ardilla con pares de arranque y parada más altos que los normales y motores con reostatos adicionales son capaces de poner en movimiento estas cargas de alta inercia. Motores sincrónicos, especialmente contruidos, se aplican algunas veces a los molinos de martillos y a los machacadores.

Los hornos modernos se ponen en movimiento con motores de corriente continua, que se ajustan variando la tensión. Una relación de velocidad de 4 a 1, continuamente variable o par constante, es lo que se requiere normalmente para funcionar. En algunos casos de funcionamiento intermitente es preciso velocidades del orden de 8 a 1 para facilitar el mantenimiento del horno. Entonces, la velocidad del motor del alimentador

del horno (5 a 15 CV) se varía proporcionalmente a la velocidad del motor que mueve al horno (75 a 250 CV), de modo que el crudo entra en el horno en una cantidad proporcional a la velocidad de giro del mismo. Los motores independientemente excitados del horno y del alimentador se alimentan con el mismo generador de corriente continua, siendo su tensión ajustable. Se ha previsto el poder regular las velocidades independientemente y ajustar el funcionamiento del motor del alimentador.

El horno normalmente está dotado de un motor de gasolina para poder funcionar a pequeña velocidad durante los cortes de fluido. Si el horno deja de girar cuando está en pleno funcionamiento, pueden producirse grandes daños por efecto de la temperatura, ya que ésta provocará deformaciones del tubo.

En las fábricas de cemento, el acarreo de materiales se realiza empleando numerosos transportadores, elevadores, bombas y grúas. El motor de inducción de jaula de ardilla da excelentes resultados en los elevadores, en las bombas de cemento y en los compresores. Los transportadores con potencia inferior a 60 caballos, por regla general se mueven con motores de inducción de jaula de ardilla. Suelen emplearse motores de in-

Molino de martillos para la molienda secundaria movido por un motor sincrónico de 600 CV y 900 r. p. m.

ducido bobinado, en los transportadores de cinta de 60 o más caballos, para poder acelerar paulatinamente hasta velocidades muy elevadas los transportadores cargados dentro de los límites de funcionamiento de éstos.

Los puentes grúas con cuchara son muy importantes para el funcionamiento de la fábrica. La rotura de uno de éstos puede ocasionar el paro de la fábrica durante varias horas, puesto que estas grúas acarrean prácticamente todo el carbón, la caliza, el yeso, la arena y el clínker. La tendencia actual es emplear corriente alterna. Los movimientos de traslación y desplazamiento de estas grúas son efectuados, casi universalmente, con motores de inducido bobinado, con resistencias de control. Los motores de arrastre y cierre de la cuchara son, bien motores de rotor bobinado, con resistencia de control, o bien, motores de corriente continua ajustables. Cuando se precisan velocidades más ajustadas y control de giro se utilizan motores de corriente continua con regulador.

Los motores con guardapolvos son muy adecuados para la mayoría de las fábricas de cemento, cuando la cantidad de polvo

existente no es muy grande. De esta forma, se evita que el cemento se deposite en los arrollamientos y elementos de conmutación y permite la limpieza periódica de los motores mediante aire comprimido. En zonas con mucho polvo se utilizan motores totalmente cerrados, enfriados por ventilador y con cubiertas de neopreno para los cojinetes. Los cojinetes de los motores de las fábricas de cemento están provistos de tapacojinetes especiales que permiten la respiración de éste.

La velocidad más adecuada para la conservación y mantenimiento de los colectores de las máquinas de corriente continua es la de 1.200 r. p. m. e, incluso, algo más bajas. Las grandes máquinas con cojinetes de pedestal son de construcción abierta. A los arrollamientos con aislamiento de Thermolastic, se les da un tratamiento especial con neopreno para protegerlos contra las partículas de polvo.

En la figura 5 se facilitan los costos, por caballo de fuerza, a diferentes tensiones de los distintos motores y los correspondientes controles. La elección de las tensiones para los motores, basada en los costos únicamente, nos indicaría que son preferibles los

Fig. 5. - Influencia de la tensión sobre los costos de propulsión

Horno rotatorio para la fabricación de cemento movido por un motor de corriente continua de 125 CV y un motor auxiliar de gasolina

motores de 200 CV a 2.300 voltios, en lugar de los de 4.400 voltios y 200 CV y de los de más de 4.000 voltios, dependiendo esto de la distribución de tensiones disponible. Otro factor, que también influye, es el de los «puntos de desconexión» en la tensión de los motores. Por ejemplo, puede no interesar funcionar con altas tensiones en motores de ciertos sitios o tener un motor sólo a un alto voltaje. Sin embargo, puede interesar un motor de alta tensión donde la continuidad del servicio requiera independencia de las centrales eléctricas.

El factor de potencia de una fábrica de cemento es, por regla general, muy alto, próximo a la unidad en la mayoría de las fábricas. Los volt-amperes reactivos suministrados por los grandes motores sincrónicos de los molinos que tienen un factor de potencia del 80 % es suficiente para corregir el factor de potencia de los numerosos motores de inducción utilizados en la fábrica. En raras ocasiones se necesitan capacida-

des para corregir el factor de potencia. Las cargas en las fábricas de cemento, con la excepción de la cantera y trituradores, son constantes; y el factor de carga es relativamente alto, del 80 al 90 %.

La producción regular en las fábricas de cemento depende del comportamiento del equipo eléctrico.

Las fábricas de cemento deben establecer programas de conservación general de la instalación. El programa abarcará inspecciones regulares a las distintas máquinas, registros de las anomalías en ellas observadas y estado de recambios.

Desde la subestación de la fábrica a la plataforma de embarque del material, debe estar garantizado el suministro de energía eléctrica y la marcha de los sistemas de propulsión para que exista dentro de la fábrica la suficiente flexibilidad y no se interrumpa el funcionamiento normal de la misma.

TABLA «A»

DISPOSITIVOS PARA EL MOVIMIENTO DE UNA FABRICA DE CEMENTO CORRIENTE

MÁQUINA	POTENCIA	TIPO DE MOTOR	REGULACIÓN
Triturador. { Rotatorio	75-400	Rotor bobinado.	Campo secundario magnético.
De Rodillos			
De Mandíbulas ...			
Molino de conos	50-300	Jaula de ardilla.	Plena tensión.
Molino de martillos	150-600	Motor sincrónico.	Plena tensión.
Transportadores	3-60	Jaula de ardilla.	Plena tensión.
Molino de bolas	450-2.000	Sincrónico.	Plena tensión en los motores lentos y reducida en los rápidos.
Movimiento del horno	75-200 5-15	C. continua, shuntados.	Con tensión regulada, varios motores y relaciones de velocidad 8:1.
Separadores de aire	50-200	Jaula de ardilla.	Plena tensión.
Ventiladores	40-600	Jaula de ardilla y sincrónicos de inducido bobinado.	Plena tensión. A veces control de velocidad.
Molino para el carbón	40-200	Especial.	Plena tensión.
Enfriador	40-100		» »
Elevadores	10-40		» »
Transportadores de tornillo			
Dragas de cadena			
Grúas de cuchara	40-200	Motores de C. C. rotor bobinado con ajuste de tensión.	