

PONENCIA 61 C2

TRANSPORTE NEUMÁTICO DE POLVO

ATOMIZADO EN FASE DENSA

UNA ALTERNATIVA MEDIOAMBIENTAL AL

TRANSPORTE CONVENCIONAL

E.Archela⁽¹⁾, J.V.Bono⁽¹⁾, G.Mallol⁽²⁾, J.Boix⁽²⁾

⁽¹⁾ Talleres Jois, S.A. (Jois)
Vila-Real, Castellón España

⁽²⁾ Instituto de Tecnología Cerámica (ITC)
Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE)
Universitat Jaume I. Castellón. España.

Palabras clave: polvo atomizado, medio ambiente, transporte neumático, cerámica

RESUMEN

El transporte del polvo atomizado entre las empresas del sector cerámico de Castellón, así como el trasiego efectuado en el interior de las propias empresas cerámicas hasta la alimentación de las prensas, constituye, con los métodos actualmente empleados, un foco destacado de derrames de polvo atomizado, pérdidas de producto y emisiones de partículas a la atmósfera .

El presente trabajo proporciona y justifica el empleo de una alternativa para el transporte de polvo atomizado: el transporte neumático. Dicho sistema maneja y transporta siempre el producto en recipientes completamente cerrados y conducciones estancas. Este hecho evita cualquier tipo de emisiones y/o derrames de polvo al medio ambiente dando respuesta a una de las más exigentes pretensiones de obligado cumplimiento de la Autorización Ambiental Integrada [1].

En el trabajo presentado se comprueba experimentalmente en una instalación industrial que este tipo de transporte no provoca la rotura de los gránulos que constituyen el polvo atomizado, ni el secado del mismo. Al mantener constante la humedad y la distribución del tamaño de los gránulos, el sistema permite mantener inalteradas las propiedades físicas del polvo atomizado que aseguran un óptimo desarrollo de la operación de prensado. El estudio realizado se completa con una comparativa entre el consumo eléctrico del transporte neumático y el de los sistemas tradicionales de transporte de polvo atomizado.

1 INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de fabricación de las baldosas cerámicas es necesario realizar un gran número de operaciones de transporte del polvo atomizado el cual constituye una de las materias primas más importantes de esta industria. Estas operaciones de trasiego tienen lugar en los sistemas de transporte de las instalaciones de atomización, durante las operaciones de carga, transporte y descarga de los camiones bañera, encargados del suministro a las plantas de producción de baldosas, y en las propias instalaciones de fabricación, desde los silos de almacenamiento hasta la alimentación de las prensas. A lo largo de todas estas maniobras se producen derrames de polvo atomizado y emisiones de polvo a la atmósfera que provocan pérdidas de producto y contaminan el medio ambiente [2] [3]. Esta situación se ve agravada en la provincia de Castellón por la elevada concentración de empresas fabricantes de baldosas cerámicas.

En la actualidad, el transporte del polvo atomizado en el interior de las instalaciones se realiza, generalmente, mediante cintas transportadoras y elevadores de cangilones, los cuales están dotados de poderosos equipos de aspiración para minimizar los derrames de polvo. Pese a la utilización de estos sistemas de aspiración, es muy

complicado evitar las fugas de material y, por esta razón, es necesario buscar una alternativa a estos sistemas de transporte. Dicha alternativa se encuentra en la utilización del transporte neumático en fase densa, el cual es idóneo para esta aplicación. En efecto, el transporte neumático en fase densa permite transportar el polvo atomizado, de una forma totalmente estanca a lo largo de una conducción, en el seno de una fase gaseosa compuesta de aire. Este tipo de transporte presenta la peculiaridad de realizarse a una baja velocidad de avance, lo cual permite separar al máximo la corriente gaseosa de la materia prima semielaborada, favoreciendo el empuje del polvo atomizado en lugar de su arrastre [4][5].

Utilizando este sistema, el transporte desde las instalaciones de atomización hasta las plantas de producción de baldosas se realizaría mediante camiones cisterna herméticos que serían descargados, a través de conducciones cerradas, directamente en los puntos de almacenamiento (silos) o consumo. Del mismo modo, en el interior de las empresas fabricantes de baldosas el transporte del polvo atomizado se realizaría utilizando propulsores y conducciones completamente estancas, con las consiguientes ventajas de seguridad, limpieza y mejora sustancial del medio ambiente.

La empresa de fabricación de maquinaria Talleres Jois, en constante desarrollo de la tecnología basada en el transporte neumático para el cluster cerámico español, tiene instalado en la actualidad, en varias empresas de Castellón, dichos sistemas con diferentes configuraciones.

2 OBJETIVO

Con vistas a comprobar la viabilidad técnica del transporte neumático en fase densa del polvo atomizado, se realizó, por un lado, un estudio sobre la integridad de los gránulos de polvo atomizado y de la evolución de la humedad a lo largo de todo un sistema de transporte neumático instalado por la empresa Talleres Jois. Y por otro lado, se analizó el consumo eléctrico asociado a la generación del aire comprimido requerido para el accionamiento de los distintos sistemas de carga presentes en la misma instalación.

3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para estudiar el efecto del transporte neumático en fase densa sobre las propiedades del polvo atomizado se realizó una toma de muestras en distintos puntos de la instalación con el fin de comparar las propiedades de las mismas y determinar si el material experimentaba algún tipo de degradación durante su transporte. Los puntos de muestreo escogidos fueron el camión de suministro de polvo atomizado a la planta, la entrada de los silos de almacenamiento, la salida de los silos y el sistema de alimentación de las prensas.

Los ensayos de caracterización se realizaron sobre una composición de gres rojo y otra de azulejo rojo. El transporte de la composición de azulejo desde los camiones de suministro hasta los silos de almacenamiento se realizaba mediante un sistema de múltiples envíos accionado por un propulsor de 1000 l; en cambio, el transporte de la composición de gres se efectuaba mediante un sistema de un único envío de 27 Tm. En cuanto al transporte desde los silos de almacenamiento hasta la alimentación de las prensas, ambas composiciones eran transportadas mediante un sistema de múltiples envíos accionado por un propulsor de 1000 l.

La caracterización de las muestras recogidas consistió en la realización de los ensayos que a continuación se describen [6].

3.1 Determinación de la humedad del polvo atomizado

Para determinar la humedad de las diferentes muestras recogidas se sometió una parte de la muestra a un secado en estufa de laboratorio a 110°C hasta pesada constante. La pérdida de masa experimentada correspondió a la humedad. El ensayo se realizó por triplicado y se calculó la media.

3.2 Determinación de la distribución de tamaños de gránulo del polvo atomizado

Para determinar la distribución de tamaños de gránulo de las muestras de polvo atomizado recogidas, se utilizó una batería de tamices de 750, 500, 300, 200 y 125 µm de tamaño y un recipiente para la recogida del cernido. Tras pesar los tamices vacíos se ordenaron de menor a mayor luz de malla, siendo el superior el de mayor luz. Como muestra se utilizaron 50 g. de material que fueron colocados en el tamiz superior, manteniéndose una vibración moderada durante siete minutos. Posteriormente se pesaron las fracciones retenidas por los distintos

tamices, así como lo que se recogió por debajo del tamiz de menor tamaño. El ensayo se realizó al menos dos veces y se calculó la media.

Los resultados obtenidos se representaron para intervalos de tamaño de gránulo equiespaciados cada 100 μm para lo cual fue necesario construir la distribución granulométrica acumulada e interpolar los resultados para los valores de tamaño de gránulo deseados.

3.3 Observación y fotografía con el microscopio estereoscópico

Para determinar si los aglomerados de polvo atomizado que constituían las distintas muestras se degradaban durante su transporte a través de la instalación, se depositaron dichas muestras sobre un portamuestras de vidrio y se observaron con un microscopio estereoscópico provisto de un dispositivo fotográfico.

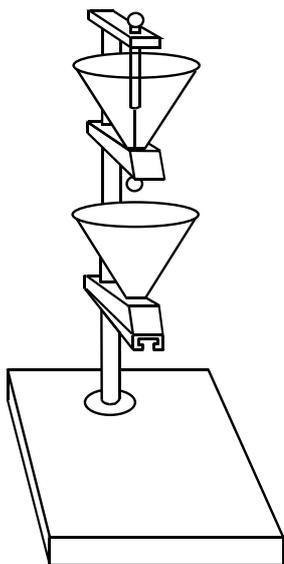


Figura 1. Dispositivo experimental para la medida de la velocidad de flujo de un material pulverulento.

3.4 Determinación de la velocidad de flujo del polvo atomizado

La velocidad de flujo de un material pulverulento se define como la velocidad a la que fluye dicho material a través de un orificio situado en el fondo de un recipiente que lo contiene, expresada en unidades de flujo volumétrico (cm^3/s) o másico (g/s) [7].

Para la determinación de la velocidad de flujo se empleó un fluidómetro consistente en dos embudos metálicos superpuestos como los mostrados en la figura 1. El embudo superior disponía de un mecanismo que permite el llenado del embudo inferior sin la intervención del operario, mientras que el embudo inferior estaba provisto de una compuerta de apertura rápida que permitía iniciar la descarga del material en el momento deseado. El procedimiento experimental consistió en depositar el material a ensayar en el embudo superior y, a continuación, activar el dispositivo que permitía el paso del material al embudo inferior. Cuando todo el material había pasado se abría la compuerta inferior y se determinaba el tiempo que tardaba en descargarse todo el material. La fluidez o velocidad de flujo másica se determinó como el cociente entre la masa del material ensayado y el tiempo de vaciado del embudo inferior. El ensayo se realizó al menos dos veces para cada muestra y se calculó la media.

3.5 Medida de la resistencia mecánica del gránulo

La dureza de los gránulos se determinó de forma indirecta en una máquina de ensayos universales a una velocidad de desplazamiento de 2 mm/min. El ensayo consistió en conformar una probeta por prensado, de tal modo que se registren las parejas de valores carga aplicada - altura del lecho de polvo. A partir de estos valores se obtuvo una gráfica similar a la mostrada en la figura 2.

El punto de corte entre los dos tramos de la gráfica se define como el punto o presión de fluencia (P_f). Este valor está relacionado directamente con la dureza o resistencia mecánica de los gránulos.

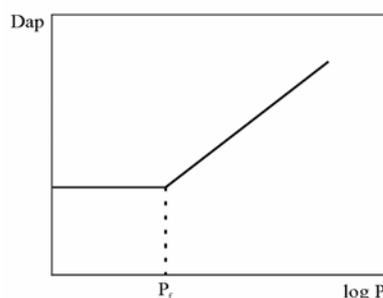


Figura 2. Modelo de diagrama de compactación de un polvo granulado.

3.6 Resistencia al desgaste por atrición de los gránulos de polvo atomizado

Para determinar la resistencia al desgaste por atrición de los gránulos de las composiciones de polvo atomizado se realizó un ensayo consistente en determinar la cantidad de material que se degradaba a medida que una

muestra de polvo atomizado, contenida en un recipiente cilíndrico de plástico, era sometida a rotación sobre un bastidor.

Durante la rotación, la fricción entre los gránulos de material y de estos con las paredes del recipiente produce la progresiva rotura de los aglomerados de polvo atomizado y la reducción del tamaño de las partículas que constituyen el material. Cuanto menor es la resistencia al desgaste de los gránulos de polvo atomizado ensayados, mayor es la cantidad de material degradado.

Para la realización de estos ensayos se partió de 30 gramos de polvo atomizado con una distribución de tamaños de partícula comprendida entre 400 y 500 μm , obtenida mediante el tamizado previo de la muestra inicial. Tras introducir el atomizado en el recipiente de plástico este fue sometido a rotación en el bastidor durante un periodo de dos minutos. Transcurrido este tiempo se tamizó la muestra y se determinó el porcentaje de material degradado como el cociente entre la cantidad de material que pasó a través del tamiz de 400 μm y la cantidad recogida sobre el mismo. El material recogido sobre el tamiz, con un tamaño de partícula superior a 400 μm , se introdujo de nuevo en el recipiente y se sometió a rotación durante otros 4 minutos, tras los cuales, la muestra se volvió a tamizar para determinar la cantidad de material degradado durante este tiempo. El ensayo prosiguió de este modo hasta completar un tiempo de rotación de 15 minutos.

3.7 Análisis del consumo eléctrico de la instalación de transporte neumático

El estudio del consumo eléctrico del transporte neumático se concretó en el proceso de carga de polvo atomizado desde la tolva de recepción de los camiones bañera hasta la entrada del silo, haciendo uso tanto del sistema de impulsión por envíos (composición de azulejo rojo), como del sistema de propulsión con un único envío (composición de gres rojo). El análisis de consumo se realizó utilizando un analizador de redes eléctricas. Antes de cada ensayo, se determinó el consumo medio del compresor asociado a la generación del aire comprimido necesario para cubrir las demandas de la planta, manteniendo parada la instalación de transporte neumático. Este consumo medio fue posteriormente empleado para determinar, por diferencia con respecto al consumo global (planta + sistema de transporte), el consumo eléctrico asociado a la instalación de transporte neumático durante las etapas de carga de los silos de almacenamiento.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto del transporte neumático sobre la humedad del polvo atomizado

En la tabla 1 se representan los valores medios de la humedad del polvo atomizado en los distintos puntos de muestreo. El análisis de estos datos revela que la variación observada en la humedad del polvo atomizado, para los distintos puntos de muestreo y composiciones, es muy pequeña. Las diferencias existentes pueden ser debidas al propio error de la metodología empleada (muestreo, estanqueidad de los recipientes de almacenamiento de muestras, tiempo transcurrido ente el muestreo y la medida, etc.) en la recogida de muestras realizada.

Tabla 1. Humedad media de las muestras de polvo atomizado recogidas en la instalación de transporte neumático.

Composición	Punto de muestreo			
	Camión	Entrada del silo	Salida del silo	Prensa
Gres rojo	6,0	5,9	5,9	6,1
Azulejo Rojo	6,2	5,8	5,6	5,7

4.2 Efecto del transporte neumático sobre la distribución de tamaños de gránulo del polvo atomizado

En la figura 3 y la figura 4 se representa la distribución de tamaños de gránulo media de las diferentes muestras recogidas. Puede observarse que tan sólo existen diferencias significativas en las distribuciones de tamaños de partícula de la composición de azulejo rojo, entre la salida del silo y el sistema de alimentación de la prensa (figura 4).

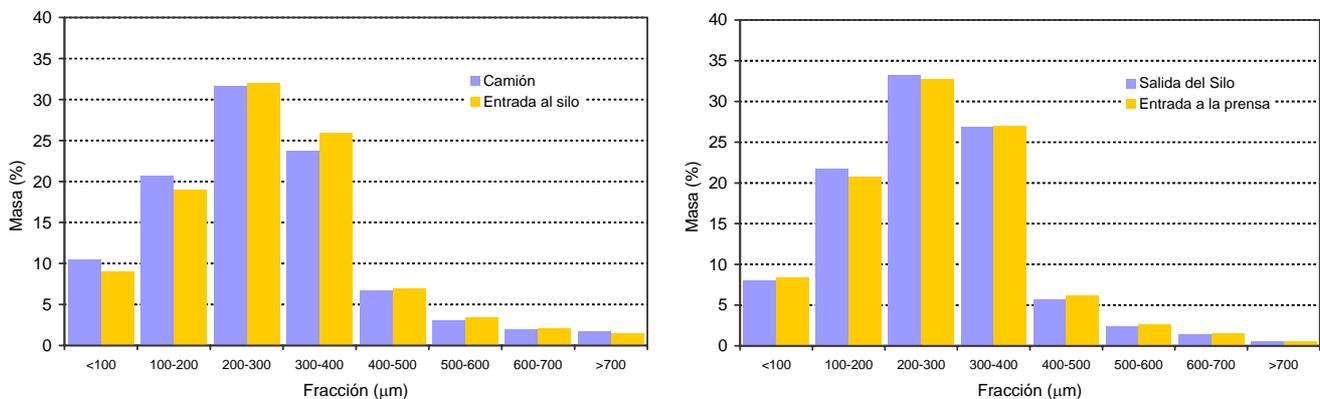


Figura 3. Distribuciones de tamaño de gránulo de la composición de gres rojo: camión y entrada al silo (izquierda), salida del silo y entrada a prensas (derecha).

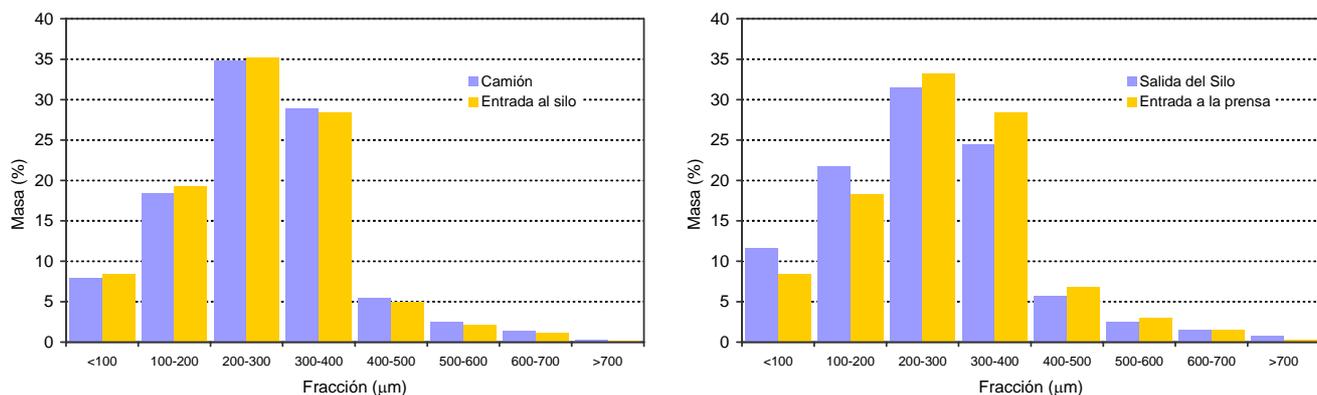
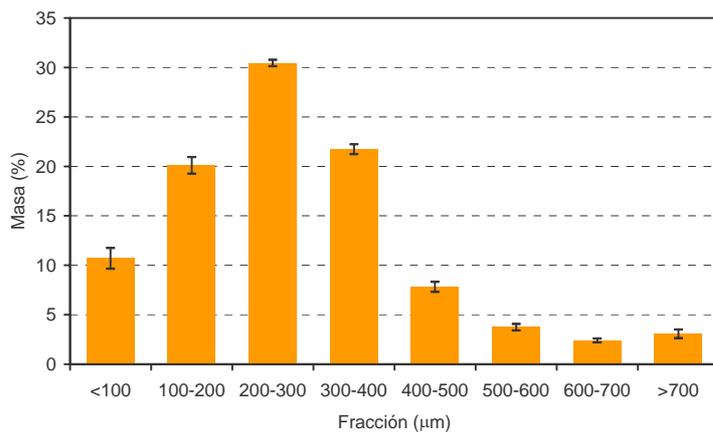


Figura 4. Distribuciones de tamaño de gránulo de la composición de azulejo rojo: camión y entrada al silo (izquierda), salida del silo y entrada a prensas (derecha).

En paralelo a estos resultados, con el fin de determinar el error cometido en la determinación de la distribución de tamaños de los gránulos de las diferentes muestras recogidas, se decidió estudiar la reproducibilidad del método de medida empleado. Para ello se tomó una cantidad de polvo atomizado de gres porcelánico, previamente secado en estufa para eliminar el efecto de la humedad sobre el ensayo, y se obtuvieron 10 muestras de 50 gramos cada una. Estas muestras fueron ensayadas con la misma batería de tamices empleada para determinar la distribución de tamaños de los gránulos de las muestras y siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Dicha reproducibilidad se observa gráficamente en la figura 5 mediante representación de la distribución de tamaños de partícula media junto con las barras de error correspondientes a cada uno de los valores medios calculados. Puede apreciarse que en ningún caso el error relativo sobrepasa un 1%. Este mismo ensayo se realizó con la misma composición pero a una humedad del 6%. Los resultados obtenidos fueron similares a los aquí presentados y el error relativo no superó en ningún caso el 1%.



Fracción (µm)	Media (%)	Desviación (%)	Error (%)
<100	10,7	1,5	± 1,0
100-200	20,1	1,2	± 0,8
200-300	30,5	0,5	± 0,3
300-400	21,7	0,7	± 0,5
400-500	7,8	0,7	± 0,5
500-600	3,7	0,5	± 0,3
600-700	2,4	0,3	± 0,2
>700	3,1	0,6	± 0,4

Figura 5. Distribución de tamaños de gránulo obtenida para estudiar la reproducibilidad del método de medida empleado.

Los resultados obtenidos con la composición de gres rojo (figura 3) indican que las diferencias encontradas en las distribuciones granulométricas medidas en los distintos puntos de muestreo son similares al error del método (figura 5). Por lo tanto el sistema de transporte neumático utilizado no modifica la distribución del tamaño de los gránulos del polvo atomizado de gres rojo.

Con respecto a la composición de azulejo rojo, se han encontrado diferencias significativas entre las distribuciones granulométricas a la salida del silo y a la entrada de la prensa (figura 4 derecha). Sin embargo la distribución de tamaños de partícula más fina corresponde a la muestra recogida a la salida del silo, cuando lo que cabría esperar es que, si existiese una degradación de los gránulos de polvo atomizado como consecuencia del transporte neumático, la distribución más fina fuese la de la muestra recogida en el sistema de alimentación de la prensa y no la de la tomada a la salida del silo de almacenamiento. Por esta razón, puede decirse que las diferencias observadas son seguramente debidas a errores en los muestreos realizados.

Por lo tanto, el análisis y comparación de las distribuciones de tamaños de partícula revela que, tanto los gránulos de la composición de gres rojo, como los de la de azulejo rojo, no experimentan una degradación importante durante su transporte en ningún punto de la instalación.

4.3 Observación y fotografía con el microscopio estereoscópico

La observación en el microscopio estereoscópico de las composiciones de azulejo y de gres rojo (ver figura 6 y figura 7) muestra que ambas composiciones conservan la esfericidad de sus aglomerados de partículas a lo largo de todo el transporte, lo cual confirma que estas composiciones no sufren una degradación importante durante su transporte, tal y como se había deducido del análisis de sus distribuciones de tamaños de los gránulos. De la observación de las fotografías, tan sólo cabría remarcar la ligera reducción del tamaño de los aglomerados, que tiene lugar en ambas composiciones, durante el transporte desde la salida de silos hasta el sistema de alimentación de la prensa.



Figura 6. Fotografías realizadas con el microscopio estereoscópico de las muestras de la composición de gres rojo. De izquierda a derecha y de arriba abajo: camión, entrada del silo, salida del silo y alimentación de la prensa.



Figura 7. Fotografías realizadas con el microscopio estereoscópico de las muestras de la composición de azulejo rojo. De izquierda a derecha y de arriba abajo: camión, entrada del silo, salida del silo y alimentación de la prensa.

4.4 Determinación de la velocidad de flujo del polvo atomizado

Los resultados de los ensayos de velocidad de flujo de las composiciones de gres rojo y de azulejo rojo, recogidos en la tabla 2, indican que la ligera reducción del tamaño de los aglomerados, que tiene lugar entre la salida de los silos y la prensa y que puede observarse en las fotografías realizadas con el microscopio estereoscópico, no supone un cambio en el comportamiento reológico de las composiciones, puesto que los valores de velocidad de flujo se mantienen prácticamente constantes para todas las muestras recogidas.

Estos resultados están de acuerdo con la conclusión obtenida del análisis de las distribuciones de tamaños de partícula, puesto que la constancia en la fluidez del material a lo largo de toda la instalación es indicativa del bajo grado de degradación que experimentan estas composiciones durante su transporte.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de velocidad de flujo correspondientes a las distintas muestras de gres rojo y de azulejo rojo recogidas.

Muestra	Gres Rojo		Azulejo Rojo	
	Velocidad de flujo (g/s)	Humedad (%)	Velocidad de flujo (g/s)	Humedad (%)
Camión	15,9	6,1	15,4	6,2
Entrada silo	15,8	6,1	15,7	5,8
Salida silo	15,6	6,1	15,3	5,7
Prensa	15,4	6,2	15,3	5,6

4.5 Determinación de la resistencia mecánica de los gránulos

En la tabla 3 se recogen los resultados de los ensayos de resistencia mecánica del gránulo de las dos composiciones de polvo atomizado estudiadas. Puede observarse que ambas composiciones presentan una tensión de fluencia muy pareja, y por tanto, una resistencia mecánica similar. Este hecho corrobora que su comportamiento sea similar en los distintos ensayos realizados.

Tabla 3. Presión de fluencia de los dos atomizados ensayados.

Muestra	Humedad (%)	Presión de fluencia (kg/cm ²)
Azulejo camión	5,6	4,9 ± 0,2
Gres camión	5,3	4,5 ± 0,2

4.6 Resistencia al desgaste por atrición de los gránulos de polvo atomizado

En la figura 8 se muestra la evolución del porcentaje de material degradado a lo largo de los ensayos realizados para las dos composiciones. Puede observarse que los valores de material degradado se encuentran muy parejos para ambas composiciones de polvo atomizado a cualquier tiempo de rotación. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos en los ensayos de medida de la resistencia mecánica de los gránulos y confirman que el comportamiento de ambas composiciones durante su transporte neumático sea parecido.

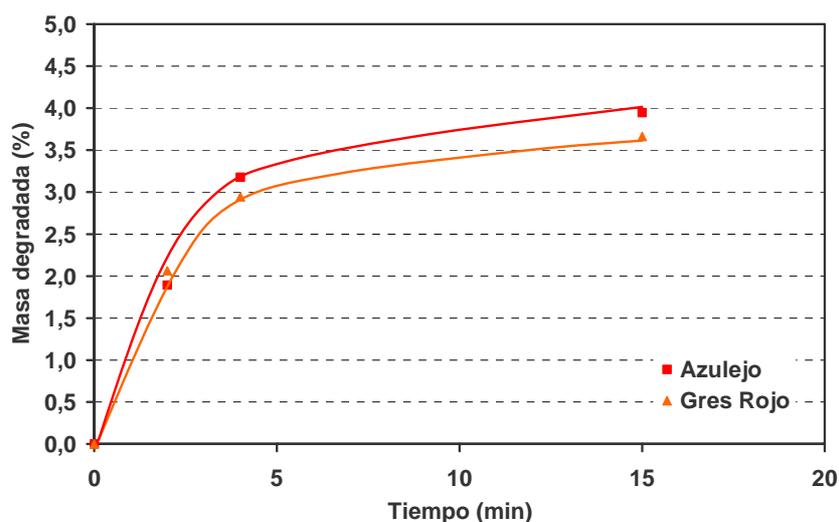


Figura 8. Variación de la cantidad de material degradado por efecto de la fricción en función del tiempo de rotación.

4.7 Consumo eléctrico destinado a la producción de aire comprimido requerido en el proceso de carga de los silos de almacenamiento

En la tabla 4 se recogen los datos de consumo eléctrico correspondientes a los dos sistemas de carga existentes en la instalación junto con el tiempo de carga y la cantidad de polvo atomizado suministrada. El coste específico de la electricidad se ha calculado considerando una tarifa promedio de 0,078 €/kWh. De forma orientativa también se recoge el consumo asociado a una instalación convencional de transporte de polvo atomizado mediante cintas y elevadores.

Tabla 4. Análisis del consumo eléctrico y coste asociado a la operación de transporte neumático de polvo atomizado.

Sistema	Tiempo carga (min)	Carga total (kg)	Potencia consumida (kW h)	Consumo específico (kW h/Tm)	Coste específico (€/Tm)
Propulsor 1 Tm Azulejo Rojo	97,6	27 960	32,27	1,15	0,090
Propulsor 30 Tm Gres Rojo	30,5	27 940	12,61	0,45	0,035
Cintas y elevadores	60	28 000	17,00	0,61	0,047

El análisis de consumo realizado indica que existen ciertas diferencias entre el consumo eléctrico correspondiente a la instalación de carga de la composición de azulejo rojo y el que presenta el sistema de carga de la de gres rojo, debido a su distinta configuración.

Como puede observarse el consumo eléctrico asociado al sistema con el propulsor más pequeño (azulejo rojo) es mucho más elevado que utilizando un propulsor mayor (gres rojo) debido a las diferencias existentes ente ambos sistemas de carga descritas en la introducción de este artículo.

5 CONCLUSIONES

Del análisis del transporte neumático estudiado pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- La humedad de los gránulos de las distintas composiciones estudiadas no se modifica significativamente durante el transporte neumático de los mismos.
- Los gránulos de polvo atomizado de gres rojo y azulejo rojo no sufren una variación significativa de la distribución de su tamaño durante su manejo mediante transporte neumático.
- Los ensayos comparativos de determinación de la velocidad de flujo de polvo atomizado y resistencia mecánica confirman los resultados obtenidos tras los muestreos efectuados en el transporte neumático de la instalación industrial.
- El coste eléctrico asociado a un transporte neumático utilizando un propulsor de 1 Tm, es prácticamente el doble que el correspondiente a un transporte con cintas y cangilones. Sin embargo, si se diseña un propulsor como el empleado en este trabajo para transportar la composición de gres rojo (30 Tm), el coste del transporte es aproximadamente un 25% menor al del sistema tradicional de cintas y elevadores.
- El propio principio de funcionamiento del transporte neumático en fase densa supone un paso importante en la reducción de las emisiones atmosféricas dentro del cluster cerámico y deberá ser tenido en cuenta como un referente en un futuro muy cercano como alternativa a los transportes convencionales existentes, tal como ya ha ocurrido en sectores afines como los esmaltes y las fritas, en los que la recepción y manejo de la mayoría de sus materias primas se realiza mediante transporte neumático.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] JEFATURA DEL ESTADO (BOE n. 157 de 2/7/2002). LEY 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. Páginas: 23910 – 23927. Referencia: 2002/12995
- [2] BLASCO, A et al. Tratamiento de Emisiones Gaseosas, Efluentes líquidos y residuos sólidos de la Industria Cerámica. ITC-AICE. 1992
- [3] MALLOL, G et al. Depuración de los gases de combustión en la industria cerámica. ITC-AICE. 2001
- [4] KLINZING, G.E et al. Pneumatic Conveying of solids. 2nd Edition. Ed. Chapman & Hall. 1997
- [5] RHODES, M. Principles of powder technology. Ed. John Wiley & Sons. 1990
- [6] AMORÓS, J.L et al. Manual para el control de la calidad de materias primas arcillosas. ITC-AICE, 1998
- [7] AMORÓS, J.L et al. Métodos de determinación de las características tecnológicas de aglomerados. Métodos de determinación de la fluidez y la densidad aparente. *Técnica Cerámica*, 146, 380-386, 1986