

“Briquetas de carbón vegetal como sustituto del coque metalúrgico I - Cuerpos Compuestos carbonosos”

M. SABESINSKY FELPERIN (1) y RICARDO A. MAYER (2)

RESUMEN

En el presente trabajo, se considera a los Cuerpos Compuestos en general, y a los Cuerpos Compuestos carbonosos en particular, examinando sus fases componentes.

Considerando el efecto pared, la viscosidad de la pasta conglomerante en las condiciones de temperatura y presión de conformado, es posible obtener Cuerpos Compuestos carbonosos de mínima relación “pasta/esqueleto granular”, por composición de partículas de carbón vegetal de diferentes tamaños.

Los requerimientos de pasta conglomerante coquizable decrecen a medida que se hace mayor el tamaño máximo de estos microesqueletos granulares, de mínima superficie específica.

OBJETO DEL PRESENTE TRABAJO

Este trabajo es parte de un amplio Plan de Investigación que tiende a obtener briquetas de carbón vegetal que, por tratamiento térmico proporcionen un combustible con propiedades físicas, químicas y resistencia mecánica similares a las del coque metalúrgico empleado en las Industrias Siderúrgica y de Fundición, con mínimo contenido de cenizas, siendo su porosidad regulada de acuerdo a las condiciones predeterminadas para cada uso.

En el trabajo señalado con (II) se tratará “La composición de microesqueletos granulares de partículas de carbón vegetal”; y en el (III), “El efecto de superficie del microesqueleto granular en los Cuerpos Compuestos* carbonosos”.

(1) Laboratorio de Tecnología de Materiales (IMAE).

(2) Centro de Estudios Metalúrgicos (CEMET).

(Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería-U.N. Rosario-Argentina).

* Con el fin de facilitar la lectura de este trabajo, la palabra «Cuerpos Compuestos» se sustituirá por sus siglas C. C.

Se tratará asimismo, la "Determinación de Sistemas de destilación y aprovechamiento de subproductos", para adecuar la destilación seca de leña de diferentes especies de Eucalyptus (Tereticornis, Saligna y Rostrata), y otras especies vegetales existentes en el norte de la Provincia de Santa Fe y Provincias del Chaco y Santiago del Estero y conseguir un mejor aprovechamiento de subproductos, tendiendo a utilizar el total del polvo residual (actualmente no aprovechado como combustible), y emplear el alquitrán obtenido, como pasta conglomerante coquizable, en la preparación de los C. C. de carbón vegetal (briquetas).

En el presente trabajo, señalado con (I), se considera a los C. C. en general, y a los C. C. carbonosos en particular, examinando sus fases componentes.

I N T R O D U C C I O N

El propósito de utilizar como materia prima partículas de carbón vegetal y alquitrán de madera, es como consecuencia de la falta de carbón mineral de calidad, dado que, al presente en nuestro país, no se han detectado aún yacimientos de carbón aptos para obtener coque metalúrgico. En cambio, se posee amplias reservas forestales (naturales y por reforestación), aseguradas por las óptimas condiciones ecológicas, de especies arbóreas adecuadas para procesos de carbonización.

De acuerdo con Ordano, Cipolatti y Dayer (1), en la Provincia de Santa Fe, principalmente en su zona centro-norte, existen extensas áreas de bosques naturales que superan el millón de Ha, que se constituyen en la actualidad en proveedoras casi exclusivas de materia prima para la Industria del carbón vegetal.

Se utilizará como materia prima base para el desarrollo de los trabajos que componen el presente Plan de Investigación, distintas especies vegetales y en particular, la especie Eucalyptus en sus tres variedades: Tereticornis, Saligna y Rostrata.

Actualmente las mencionadas especies vegetales corresponden a un amplio plan de reforestación a cargo de Altos Hornos de Zapla, en la Provincia de Jujuy, para su empleo como carbón vegetal en la obtención del arrabio. Existe también en la zona noreste del país (Pcia. de Misiones), una reforestación de especies similares, llevada a cabo por Celulosa Argentina, S. A.

Las perspectivas de colocación del producto, que en la forma de briquetas se pretende producir, resultan promisorias, por cuanto el desarrollo de la Industria Metalúrgica requiere cada vez mayores cantidades de combustible para el funcionamiento de los Altos Hornos.

Además de Altos Hornos de Zapla como posible consumidor de partículas de carbón vegetal aglomeradas y tratadas, como sustituto de menudos de carbón vegetal, serían posibles destinatarios del C. C. carbonoso a desarrollar, tanto las Industrias Siderúrgicas (Somisa, Acindar, etc.), como las Plantas de Fundición del país, cuya materia prima en uso actualmente consiste en coque metalúrgico de importación, cuya obtención, en calidad adecuada, es cada día más difícil debido a las exigencias de calidad de las materias primas a emplear.

En el presente, en el caso del carbón vegetal, se emplean sólo, como ya se ha señalado, los menudos de carbón, desechándose el polvo residual como material combustible.

Según los ya citados Ordano, Cipolatti y Dayer (1), como dato ilustrativo destacan que, para la producción de una tonelada de arrabio (hierro de primera colada), en los Altos Hornos de Zapla se necesitan 1.100 kg de carbón de leña.

Un elevado porcentaje de material aprovechable se compone de polvo residual de carbón vegetal, que escapa a su utilización como combustible. La aglomeración de estas partículas a tamaños adecuados de C. C. tratados, permite no sólo el aprovechamiento de este polvo residual, sino también la utilización de las partes secundarias de la materia prima de origen, es decir: ramas, troncos de reducido diámetro, etc.

La destilación de la madera, como lo señala Vaiani (2), no sólo produce carbón vegetal de excelente calidad, sino que todos los humos que se desprenden contienen muchos otros productos que por condensación pueden ser recuperados.

De acuerdo con Recalde Laca y López Gracia (3), cuando un compuesto orgánico complejo, como es la madera, se calienta en ausencia de oxígeno, sufre una descomposición térmica (Pirólisis), originando abundantes productos poco semejantes con el material de partida y de mucho menor peso molecular, suficientemente bajo como para que se evaporen a la temperatura de trabajo desprendiéndose, para quedar átomos de carbono que en este caso forman el carbón vegetal.

En los comienzos de esta industria sólo interesa el carbón vegetal para usos metalúrgicos y domésticos no recuperándose productos volátiles, pero actualmente es preciso recuperar, refinar y beneficiar ácido piroleñoso y alquitrán, procesos que adquirieron gran importancia al suministrar metanol, metilacetona, acetato de cal y alquitrán.

Actualmente la investigación está orientada a alcanzar mayores eficacias en el proceso y utilización de subproductos. El líquido acuoso, que se obtiene por condensación de los productos de destilación, contiene el alquitrán, en parte disuelto y en parte en suspensión. Este es un líquido viscoso, castaño oscuro que se usa como conservador, derivando esta propiedad de su contenido de creosota.

Junto con la creosota, contiene principalmente hidrocarburos aromáticos y parafinas. La primera está integrada por cresol y otros fenoles de peso molecular más elevado.

En este primer trabajo del Plan de Investigación presentado, se consideran las fases componentes de los C. C. carbonosos (briquetas de partículas de carbón vegetal y alquitrán de madera).

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LOS C. C.

Los C. C. (Materiales Aglomerados) están integrados por agregados granulares y pasta conglomerante y a veces una pequeña cantidad de aditivos químicos, para conferirles propiedades especiales, ya sea en estado fresco (proceso de conformado) o en estado endurecido (en condiciones de servicio).

Los agregados granulares, compuestos de partículas de diferentes tamaño y forma (esqueleto granular), constituyen la fase interna, discontinua o carga, en un medio-fase externa o matriz, que puede llegar a ser continua (pasta conglomerante).

Esta última fase, inicialmente en estado fresco, en ciertas condiciones de temperatura, constituye un sistema disperso de micropartículas, en distintos estados de división (solución verdadera, solución grosera, estado coloidal), comportándose cada una de estas partículas como una unidad físico-química, en una sub-fase continua o vehículo.

Las propiedades del C. C. dependen no sólo de la evolución de la fase o pasta conglomerante, sino también de las reacciones físico-químicas que pueden tener lugar en la interfase "pasta conglomerante-esqueleto granular".

En estas reacciones pueden intervenir todos los componentes de la pasta conglomerante o bien, parte de ellos, actuando otros como elementos catalizadores.

Las partículas granulares, de distintos tamaño y forma, pueden tener sus tres dimensiones del mismo orden o bien una o dos de ellas marcadamente predominantes. En este trabajo, en función de como se definen sus ángulos y aristas, se las clasifica en “partículas angulosas” y “partículas redondeadas”.

En la figura 1 pueden observarse, comparativamente, partículas de carbón vegetal obtenidas por trituración de menudos de la especie *Eucalyptus* (variedad: *Rostrata*), y partículas minerales varias, conformadas naturalmente u obtenidas por trituración.

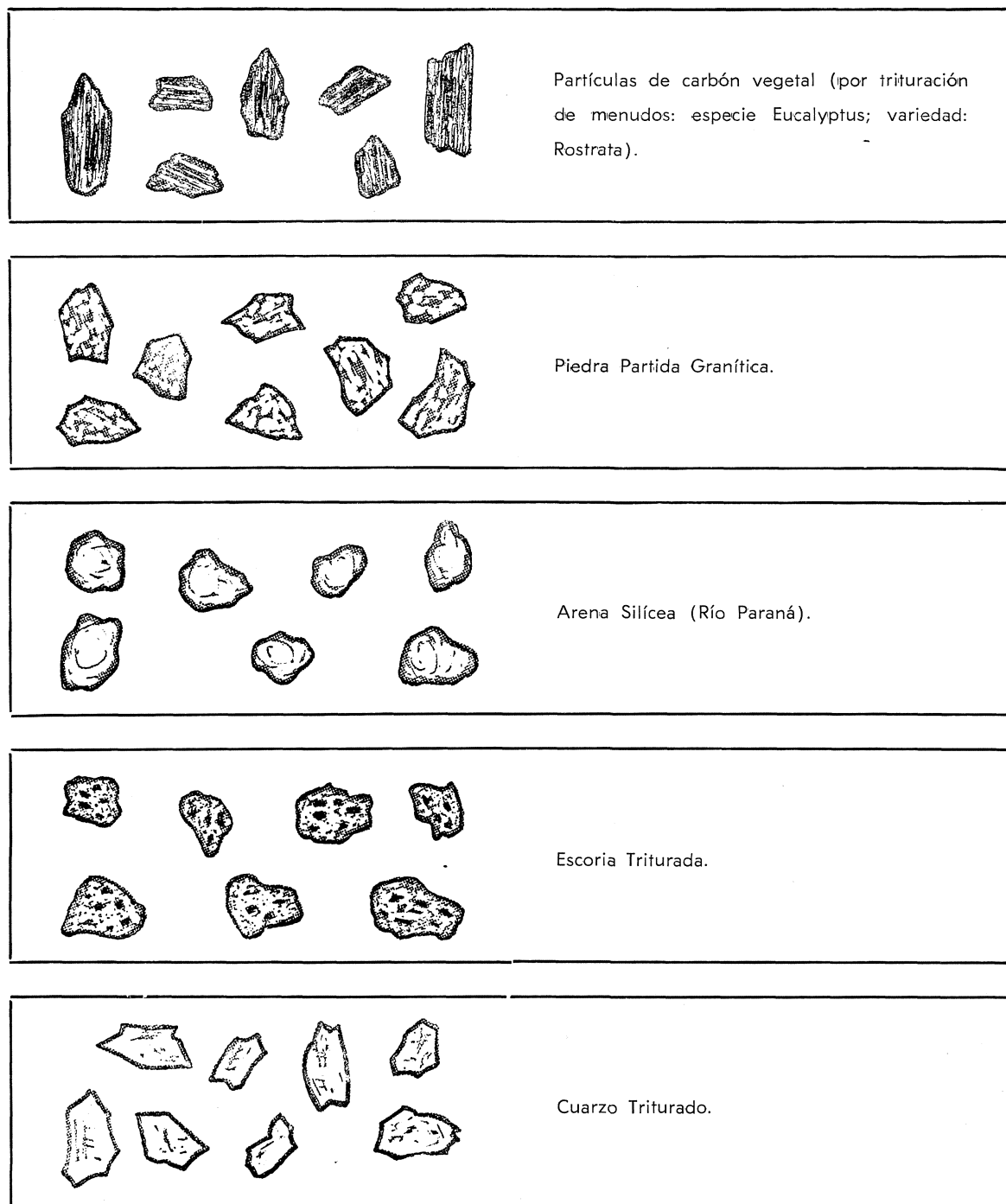


Fig. 1.—Partículas correspondientes a distintas clases de agregados granulares.

Estas partículas ocupan aproximadamente entre el 60 y el 90 % del volumen sólido del C. C., que componen.

Estos agregados que hacen la función de material de relleno en el C. C., en relación a los conformados de pasta pura, reducen y localizan la retracción y mejoran la resistencia al desgaste.

El C. C. deberá ser capaz de resistir mecánicamente, los esfuerzos para los cuales ha sido proyectado, sin perder ninguna de sus propiedades características.

En general, el C. C. debe ser adecuado a cada propósito en particular para obtener las cualidades requeridas de:

- 1) Resistencia mecánica.
- 2) Durabilidad (estabilidad del C. C., en el tiempo, conservando sus características iniciales).
- 3) Facilidad de conformado, de acuerdo a las técnicas a emplear (plasticidad, compacidad, no segregabilidad de fases y sub-fases componentes).
- 4) Economía (en el proyecto y técnicas de producción).

Como característica diferencial, los C. C. endurecidos tienen baja resistencia a la tracción, retracción por envejecimiento de la pasta conglomerante, cambios de volumen por efecto térmico, elevada porosidad y alta permeabilidad a los fluidos, si no han sido proyectados y conformados convenientemente.

El grado de adherencia entre la pasta conglomerante y las partículas componentes del esqueleto granular, tiene suma importancia. Por lo general, la resistencia mecánica del C. C. resulta ser inferior a la de la pasta conglomerante y a la de las partículas granulares. Este hecho indica que, frecuentemente, la rotura del C. C. tiene lugar especialmente en la interfase “esqueleto granular-pasta conglomerante”.

CONSISTENCIA DEL C. C. FRESCO

La consistencia se refiere al carácter de la mezcla fresca, con respecto a su estado de fluidez durante el conformado, siendo capaz de deformarse por efecto de la presión aplicada, en determinadas condiciones de temperatura, sin segregarse. Depende de la presencia de la pasta conglomerante entre las partículas del esqueleto granular, que en la forma de fina película recubre a las mismas.

La consistencia o grado de fluidez del C. C. fresco constituyen una parte importante de la trabajabilidad. Esta es una propiedad más compleja que la consistencia, puesto que involucra no solamente a las propiedades de las mezclas frescas, sino también a las condiciones de moldeo (llenado y prensado en matriz), para obtener el grado requerido de consolidación, conservando la homogeneidad del C. C. fresco. Una mezcla fresca de determinada consistencia puede ser trabajable para una determinada matriz y elemento a conformar y no para otro, aparentemente muy semejante.

En estado fresco, las propiedades reológicas del C. C. resultan ser función de la viscosidad de la pasta conglomerante y de la relación “pasta conglomerante/esqueleto granular compacto”.

Esta pasta, en estado fresco y en determinadas condiciones de temperatura y presión, puede encontrarse en estado de solución o de suspensión, constituyendo la fase externa o matriz, estableciendo puentes o vínculos entre las diferentes partículas que componen la fase dispersa o esqueleto granular.

Los esqueletos granulares compactos dan C. C., cuya consistencia en estado fresco resulta ser función del espesor de la película de pasta envolvente de las partículas componentes.

Si el esqueleto granular no es compacto y presenta gran cantidad de vacíos, parte de la pasta se pierde por ocupar estos vacíos y queda menor cantidad de pasta disponible como envolvente de las partículas componentes (4), (5), (6), (7) y (8).

Para una determinada consistencia, si la pasta es muy viscosa, hace falta mucha pasta en relación a una menor cantidad de la misma, pero más fluida (8).

En el caso de empleo de aditivos aireantes o gasificantes, para cada viscosidad de la pasta conglomerante se establece una interacción entre la consistencia del C. C. fresco, la relación "pasta/esqueleto granular" y el contenido de aire incorporado (9).

A medida que se incrementa el porcentaje de aditivo, se obtiene el mismo rango de consistencias, con menor valor de la relación considerada.

Para un determinado valor de esta relación se observa cómo incrementando el porcentaje de aditivo se hace más plástico el C. C. fresco.

Para la misma consistencia, la cantidad de microburbujas incorporadas está en relación inversa con el valor de la relación "pasta conglomerante/esqueleto granular". Este contenido de aire aumenta, a medida que lo hace la fluidez de la pasta conglomerante.

PROYECTO DE LOS C. C.

El Proyecto de los C. C. debe considerar:

- 1) Las características de los materiales componentes:
 - las partículas granulares de diferentes tamaños para componer el esqueleto granular compacto de mínima superficie específica;
 - la pasta conglomerante o el material que en las condiciones de temperatura y presión de conformado, se comporte como tal.
- 2) Los requisitos a cumplir por el C. C. endurecido.
- 3) El tratamiento posterior al conformado, previo a las condiciones de servicio.

Las propiedades de los C. C. endurecidos están determinadas por:

- 1) Clase de la pasta conglomerante (fase externa o matriz).
- 2) Viscosidad de la misma, en el momento del conformado del C. C. (según condiciones de temperatura y presión aplicada).
- 3) Naturaleza de los agregados granulares (fase discontinua).
- 4) Relación "pasta conglomerante/área superficial del esqueleto granular compacto".
- 5) Clase de aditivos empleados:
 - disolventes (se eliminan durante el mezclado, conformado o tratamiento posterior);
 - plastificantes (permanecen en el cuerpo compuesto endurecido, modificando las propiedades originales);
 - humectantes;
 - aireantes o gasificantes;
 - desgasificantes;
 - dispersantes.

- 6) Conformado (temperatura y presión aplicada).
- 7) Tratamiento posterior (para favorecer la evolución de la pasta conglomerante: fase líquida a fase sólida o solidiforme).

En el control de calidad de la resistencia mecánica de los C. C. endurecidos debe tomarse en consideración:

- 1) La forma y tamaño de la probeta testigo.
- 2) Las condiciones higrotérmicas de conservación o tratamiento de las probetas en caso de ensayos de larga duración.
- 3) La disposición del ensayo.

CONFORMADO DE LOS C. C.

Los C. C. de partículas carbonosas vegetales y pastas conglomerantes que se ablandan por el calor, pueden mezclarse en estado fresco y briquetarse a temperaturas cercanas al punto de fusión de las mismas.

Por lo general, de acuerdo con Browning (10), se necesitan aditivos para asegurar una buena dispersión de las partículas a aglomerar, y con adecuados plastificantes puede briquetarse a presiones relativamente bajas.

TRATAMIENTO DE LOS C. C. CARBONOSOS

Durante el tratamiento térmico del C. C. carbonoso, la pasta conglomerante componente se polimeriza, condensa y volatiliza en forma parcial, quedando como residuo un carbono amorfo que mantiene unidas a las partículas carbonosas que componen el microesqueleto granular.

De acuerdo con Takata y Matsumoto (11), el método de preparación de materiales conformados de carbón debe considerar que, al comienzo del proceso de coquización de la sustancia viscosa o pasta conglomerante, desde aproximadamente la temperatura ambiente a los 100°C, hasta 400°-480°C, la misma se comporta como un líquido y resulta complejo el proceso al pasar por estas temperaturas.

Según Libanati (12), en el caso de C. C. de coque y pasta conglomerante (brea proveniente de coquería de Alto Horno), el conformado se somete a un horneado, disponiéndose de manera muy compacta en hornos calentados a gas o eléctricamente. La temperatura se lleva hasta 850°-900°C; entre 450°-500°C la pasta conglomerante de brea se vuelve rígida, al mismo tiempo se produce una contracción considerable, siendo muy lento el ciclo de calentamiento y enfriamiento en Hornos Industriales.

Los trabajos de Kulaguin y Trefilova (13) destacan los resultados de las investigaciones sobre las propiedades de las briquetas de carbón de madera y su proceso de cocción a diferentes temperaturas. Este interviene, en forma esencial, en la formación de las propiedades físico-mecánicas de las briquetas. Durante la cocción se producen importantes transformaciones físico-químicas: se separa la masa fundamental de volátiles y aumenta la resistencia mecánica.

POROSIDAD

La pasta conglomerante coquizable, luego del procesado o tratamiento posterior al conformado, o por reacciones que tienen lugar a partir del mezclado con los otros materiales que en conjunto componen el aglomerado, constituye un “seudo sólido” no compacto, formado por una parte estimada sólida y una red de intersticios de pequeñísimas dimensiones, que a veces pueden llegar a ser no resolubles por métodos de microscopía óptica.

Por otra parte, los C. C. que comprenden a la pasta conglomerante y a las partículas de carbón vegetal, de acuerdo con Moffatt, Pearsall y Wulff (14), acusan una porosidad que puede alcanzar valores significantes, cualidad propia de estos solidiformes.

Durante el proceso de producción, en la mezcla de componentes se incorpora aire a la masa fresca. Este aire naturalmente atrapado resulta ser función de la viscosidad de la pasta conglomerante y del C. C. fresco.

Los aditivos que se incorporan (humectantes, plastificantes, solventes) pueden favorecer la incorporación de aire, durante el amasado y conformado del C. C. fresco. Este aire así incorporado puede constituir un sistema de burbujas incoalescentes de diferentes tamaños, de dimensiones intergranulares.

La cantidad de aire incorporado en las condiciones señaladas resulta ser función de la relación “pasta conglomerante/esqueleto granular” y viscosidad de la primera, en el C. C. fresco. A menor valor de esta relación, mayor será el contenido de aire incorporado durante el proceso de mezclado, (9).

La porosidad adicional por efecto del tratamiento térmico al procesar a los C. C. carbonosos, se debe no sólo a los poros producidos en la pasta conglomerante que se transforma en coque, sino también a la pérdida de volumen por volatilización de algunos aceites que se liberan.

De acuerdo con Darney (15), el elevado peso aparente y la baja porosidad de la pasta conglomerante dependen de la forma como cambia a coque durante el tratamiento térmico. Si la cantidad de pasta es excesiva, la retracción tiende a hacerse muy grande, a causa de la elevada porosidad generada.

GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS

Como se señala en (16), la granulometría es la característica de un agregado en función de la proporción de partículas de diferentes tamaños que lo componen. El agregado a analizar es pasado sucesivamente a través de tamices de malla cuadrada, colocados en orden decreciente, siendo el superior el de mayor abertura de malla.

Se define como Módulo Granulométrico, al número que resulta de dividir por cien, la suma de los porcentajes retenidos en forma acumulada por los tamices de la Serie adoptada.

Se considera como Tamaño Máximo Nominal ($D_{m\acute{a}x.}$ -mm) de un agregado granular, al lado de la abertura de malla, de “un tamiz supuesto”, a través del cual pasa, en forma acumulada, el 95 % del peso total del material.

MICRO ESQUELETO GRANULAR COMPACTO

Interesa conocer la composición de microesqueletos granulares compactos, para el conformado de C. C. de partículas carbonosas vegetales, de masa definida, con efecto pared.

Con este propósito se han examinado las Curvas Granulométricas ideales para agregados de partículas angulosas: de Fuller, la asimilada parabólica de Gessler, las distintas de Bolomey para C. C. frescos, plásticos y fluidos, y las unificadas posteriores (17).

Debe tenerse presente que las Curvas Granulométricas Clásicas fueron elaboradas para C. C. de masa indefinida.

Dado que se considerarán las partículas carbonosas vegetales de tamaños entre tamices ASTM, de dimensiones (Norma IRAM 1501) N.º 18 (1,000 mm) y N.º 400 (0,037 mm), se examinan e interpretan las Curvas mencionadas, excluyendo de las mismas a las partículas que pasan a través del tamiz N.º 400.

Para la representación de las Curvas Clásicas se han considerado seis tamices de malla cuadrada, clasificados como sigue: N.º 18 (1,000 mm), N.º 30 (0,590 mm), N.º 50 (0,297 mm), N.º 100 (0,149 mm), N.º 200 (0,074 mm) y N.º 400 (pasa el tamiz N.º 200 0,037 mm).

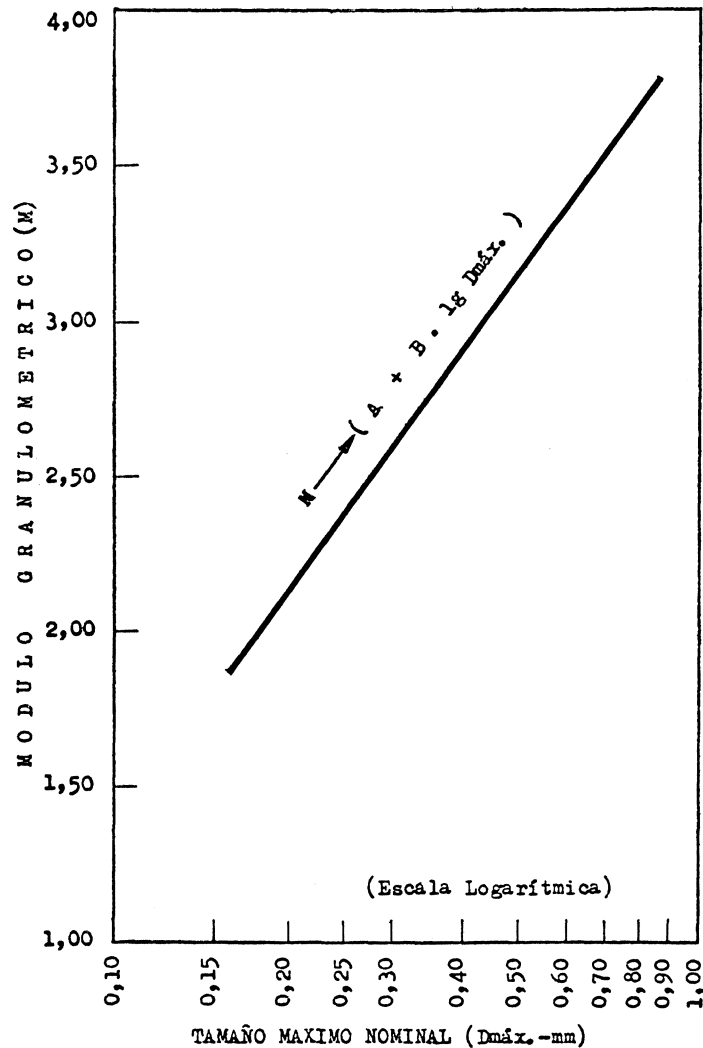


Fig. 2.—Módulo Granulométrico (valores medios de las distintas Curvas Clásicas examinadas: FULLER-CESSLER-BOLOMEY, para $y_{400} = 0$), como función lineal del log del correspondiente tamaño máximo nominal.

Las diferentes Curvas Granulométricas tratadas fueron representadas para distintos tamaños máximos nominales, dentro del rango de los clasificados como "microesqueletos". Una

vez representadas, se desplazó al eje de las "x", haciendo "y₄₀₀ (porcentaje del material que pasa a través del tamiz N.º 400)", igual a cero. La ordenada máxima restante se considera 100 %. Sobre esta base, se calcularon los diferentes Módulos Granulométricos.

En la figura 2 se representa en el plano "Módulo Granulométrico del agregado compuesto (M) tamaño máximo nominal (D_{máx.}-mm)", la correspondencia encontrada para las distintas Curvas Clásicas, interpretadas de acuerdo al criterio expuesto. Se observa como:

$$M \rightarrow (A + B \cdot \log D_{\text{máx.}}) .$$

En consecuencia, interesa conocer el valor de los parámetros "A" y "B", en el presente caso, de composición de agregados granulares carbonosos para el proyecto de C. C. de masa definida, con efecto pared y para un amplio rango de tamaños máximos nominales.

Según Villey (18), las partículas más gruesas, por el efecto pared están limitadas en su libertad de desplazamiento al encontrarse con las caras, ángulos y aristas de la matriz. Al ubicarse tangencialmente a los planos límites, hacen entrar en juego a los elementos más finos.

De acuerdo con Villey (18), Faury (19) y L'Hermite (20), el efecto pared ha transformado la teoría clásica de la granulometría y hace que las fórmulas granulométricas tengan que ser previstas en función de otras consideraciones y que, en este caso, se hace necesario una mayor proporción de agregado superfino. Sin embargo, es el agregado más grueso el que mejora la calidad del C. C. carbonoso, ya que con su incremento puede lograrse una reducción de la superficie total de las partículas del microesqueleto granular.

En la figura 3, correspondiente a un trabajo previo sobre los C. C. de cemento portland (Hormigones), (17), se interpretan las mencionadas Curvas Clásicas, en el rango de los "macroesqueletos granulares", de tamaños máximos entre 76,2 y 4,76 mm. En este caso, con el propósito de considerar exclusivamente a los elementos granulares que componen el esqueleto granular, se examinan e interpretan las mencionadas Curvas, excluyendo de las mismas a las partículas superfinas y a los granos de cemento portland.

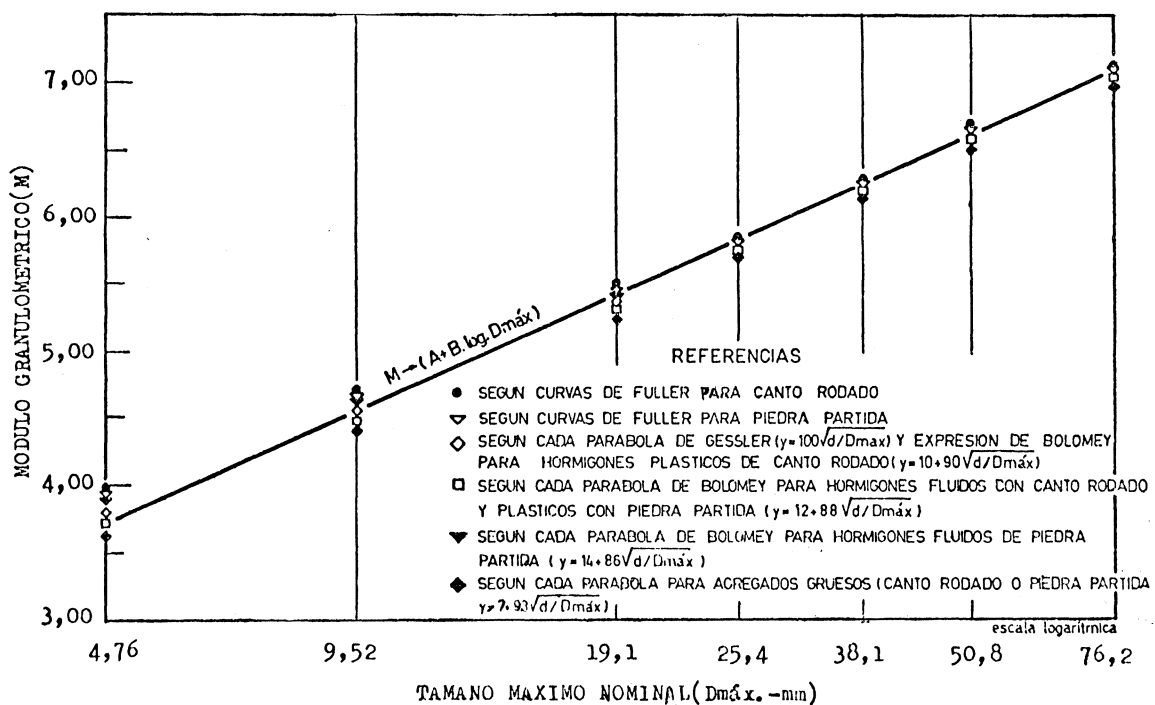


Fig. 3.—Módulos Granulométricos de las distintas Curvas Clásicas consideradas, como función del log del tamaño máximo nominal (D_{máx.}-mm). (Se han excluido las partículas superfinas, que pasan a través del tamiz N.º 100-0,149 mm).

El objeto de separar a las partículas superfinas, es consecuencia de las conclusiones obtenidas al investigar las propiedades de las mismas y a su influencia en las propiedades de los C. C. de cemento portland (frescos o endurecidos), (9) y (21). Se llega a conclusiones análogas a las correspondientes al caso de los "microesqueletos granulares", expresadas en la figura 2.

Interesa en consecuencia, obtener para los C. C. de masa definida, con efecto pared, un microesqueleto granular compacto, de mínima superficie específica, el cual permita reducir a un mínimo la cantidad necesaria de pasta conglomerante coquizable.

En el trabajo (II) se tratará de la composición de estos microesqueletos de máxima compacidad, considerando las conclusiones del presente trabajo.

CONCLUSIONES

Considerando el efecto pared, la viscosidad de la pasta conglomerante en las condiciones de temperatura y presión de conformado, es posible obtener C. C. carbonosos de mínima relación "pasta/esqueleto granular", por composición de partículas de carbón vegetal de diferentes tamaños.

Los requerimientos de pasta conglomerante coquizable decrecen a medida que se hace mayor el tamaño máximo de estos microesqueletos granulares, de mínima superficie específica.

REFERENCIAS

- (1) ORDANO, C. C., M. O. CIPOLATTI y A. DAYER: "Carbonización de la madera en Horno de Cámaras múltiples tipo bóveda". Primer Congreso Forestal Argentino, Buenos Aires, 1969.
- (2) VAIANI, P. R.: "La Industria del carbón de leña". Riquezas Argentinas, Buenos Aires, 1932.
- (3) RECALDE LACA, S. y R. LOPEZ GRACIA: "Industria de Destilación de la madera" (La Gran Industria Química), Vol. V., Edit. G. Gili, S. A., Barcelona.
- (4) SABESINSKY FELPERIN, M.: "El agua de amasado en la consistencia del hormigón fresco, para distintas relaciones agua/cemento" IMAE, 1966.
- (5) SABESINSKY FELPERIN, M.: "Interaction in fresh micro-concrete between airentained and consistency, for different water/cement ratios" International RILEM Symposium on Admixtures for Mortars and Concrete, Bruselas, 1967.
- (6) SABESINSKY FELPERIN, M.: "The Portland cement paste in the shrinkage of micro-concretes, for different water/cement ratios" International RILEM Symposium on Shrinkage on Hydraulic Concrete, Madrid, 1968.
- (7) SABESINSKY FELPERIN, M.: "Contenido óptimo de aire en los hormigones de cemento portland". XV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Porto Alegre, 1971.
- (8) SABESINSKY FELPERIN, M. y J. C. OJEDA: "Influencia de la superficie específica del cemento portland en la consistencia del hormigón fresco" XVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, 1974.
- (9) SABESINSKY FELPERIN, M.: "Micro-hormigones de cemento Portland-Influencia de la Pasta conglomerante en la incorporación internacional de aire" IV Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos, LEMIT, La Plata, 1972.
- (10) BROWNING, J. E.: "Aglomeración —Adelantos en aplicaciones y Tecnología"— Pub. Chemical Engineering, 1967.

- (11) TAKATA, S. y M. MATSUMOTO: "Método de fabricación de materiales de moldeo de carbón y grafito". Pat. Jap. 38-9555, 1963.
- (12) LIBANATI, C.: "Producción de grafito para uso en Tecnología de Reactores". Primer Coloquio de Pulvimetalurgia. Dep. de Metalurgia. C.N.E.A., Buenos Aires, 1961.
- (13) KULAGUIN, E. P. y B. A. TREFILOVA: "Influencia de la temperatura de calcinación en las propiedades de las briquetas de los menudos de carbón de madera". Industria Hidrológica y Química de la madera, Znilji, 1971.
- (14) MOFFATT, W. G., G. W. PEARSALL y. J. WULFF: "Estructura". Editorial Limusa-Wiley S.A., México, 1968.
- (15) DARNEY, A.: "Brea como ligante para electrodos de carbono". Pub. British Aluminium Co.
- (16) SABESINSKY FELPERIN, M.: "Proyecto de hormigones de cemento portland con agregados normales". Ed. NIGAR SRL, Buenos Aires, 1973.
- (17) SABESINSKY FELPERIN, M.: "Composición de agregados compactos, gruesos y compuestos, para Proyectos de hormigones normales de distintas consistencias y relaciones agua/cemento". XIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Montevideo, 1969.
- (18) VILLEY, J.: "El efecto pared sobre la compacidad de las mezclas granulosas binarias". Le Génie Civil, noviembre, 1944.
- (19) FAURY, J.: Le béton. Influence de ses constituants inertes, règles à adopter pour sa meilleure composition". París, 1942.
- (20) L'HERMITE, R.: Ideés actuelles sur la Technologie du béton". Ed. Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.
- (21) SABESINSKY FELPERIN, M.: "Consideraciones Generales sobre los Cuerpos Compuestos de Cemento portland (Hormigones), y base para su Proyecto". Materiales de Construcción, N.º 158, Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1975.