

IMPORTANCIA DE LOS ENSAYOS DE COMPACTIBILIDAD, RESISTENCIA EN VERDE Y HUMEDAD EN MEZCLAS DE MOLDEO

IMPORTANCE OF THE COMPACTNESS, GREEN SAND STRENGTH AND HUMIDITY TEST ON SAND MOULD

CLARO MISAEL SALCINES MERINO

Universidad de Pinar del Río.
E-mail: elsami@meca.upr.edu.cu

ALAIN VALDES CRUZ

Universidad de Pinar del Río.

RESUMEN: A partir de la teoría del agua rígida y de los trabajos desarrollados por Wenninger se alcanzó una concepción más clara sobre los mecanismos de aglutinación en verde de las mezclas de moldeo. Al mismo tiempo, se presta una particular atención a los ensayos de compactibilidad, resistencia a la compresión en verde y humedad, como índices más representativos de dicho proceso de aglutinación. Se demuestra la relación que existe entre estos ensayos y las consecuencias de los trabajos de Wenninger. Se hace particular énfasis en el ensayo de compactibilidad por considerarlo de aplicación limitada.

Palabras claves: Compactibilidad, compresión en verde, agua rígida, aglutinación.

ABSTRACT: Since the rigid water theory and the works developed by Wenninger, there exist a more clear conception about the bounding mechanism in the green sand mould. At the same time, a particular attention is put on the compactness, green sand strength and humidity test like most representatives index of the bounding process. In this brief description is showed the relation between this test and Wenninger's researches. A particular emphasis is made on the compactness test in consideration of its limited use.

Key words: Compactness, green sand strength, rigid water, bounding.

INTRODUCCIÓN

En la industria de construcción de maquinaria es muy frecuente que los técnicos y especialistas involucrados en la producción de piezas fundidas sepan realizar los ensayos de laboratorio relacionados con las propiedades de las mezclas de moldeo, pero no siempre conocen el porqué de determinado tipo de ensayo. En el presente artículo se somete a consideración un pequeño grupo de propiedades que permiten determinar el estado técnico de la mezcla para producir el molde de fundición, desde el punto de vista de sus posibilidades como material de moldeo. Estas propiedades son: resis-

tencia a la compresión en verde, humedad y compactibilidad. Las mismas guardan un grado de interdependencia tal, que con el conocimiento de los valores que adquieren se pueden definir dos de los parámetros fundamentales de una mezcla de moldeo convencional: la cantidad de material disponible para la aglutinación (arcilla activa) y la cantidad realmente aglutinada en la mezcla (arcilla efectiva).

El objetivo esencial del trabajo es definir por qué estos tres ensayos resultan imprescindibles para conocer el verdadero estado técnico de la mezcla de moldeo. A la vez, se hace particular énfasis en el ensayo de compactibilidad; esto se debe a dos razones fundamentales: en

primer lugar su realización es poco frecuente (cuando no totalmente desconocida) en la mayoría de los laboratorios de mezclas de moldeo del país y, en segundo lugar, constituye el ensayo al cual posiblemente se ha dedicado la mayor atención en las últimas décadas en este siglo caracterizadas por dos tendencias predominantes en lo que respecta a la mezcla convencional arena-arcilla-agua, ellas son: el estudio del mecanismo de aglutinación y el diseño de equipos de mezclado cada vez más eficientes. En ambos casos, la resistencia a la compresión en verde, la humedad y, en particular, la compactibilidad, han resultado los ensayos más representativos.

DESARROLLO

A partir de la década del 70, los ensayos para determinar compactibilidad, resistencia en verde y humedad en las mezclas de moldeo, han ido ganando un espacio cada vez mayor. El punto de partida puede situarse, con cierta

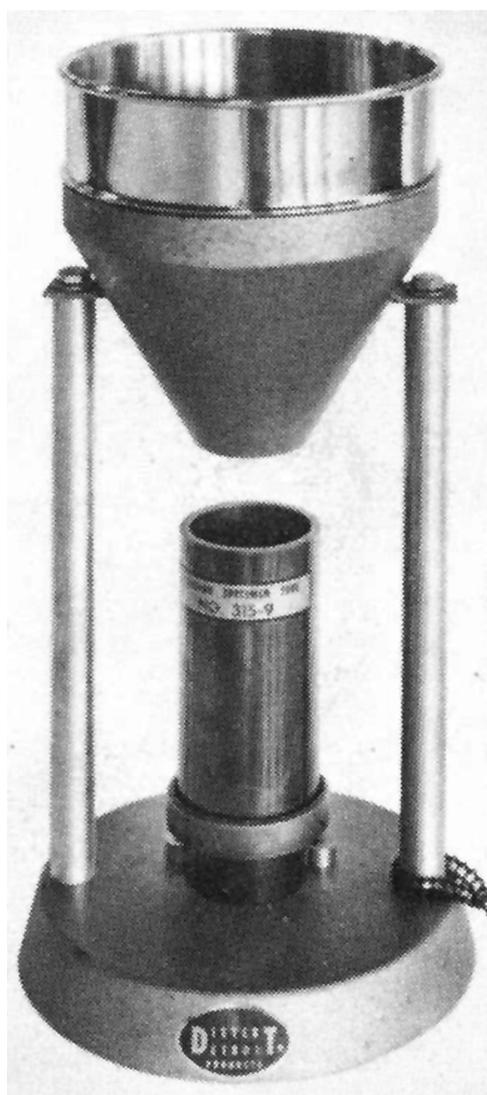


Figura 1. Dispositivo para el llenado del cilindro donde se efectúa el ensayo de compactibilidad.

precisión, en los trabajos desarrollados por Clifford E. Wenninger acerca de la molida continua, los que dieron como resultado lo que su autor denominó aglutinación mediante la teoría del agua rígida (Wenninger, 1972). Estos trabajos constituyeron la culminación de una serie de estudios sobre composiciones arena-bentonita-agua (Wenninger y Lang, 1969) que se venían desarrollando, principalmente, desde mediados de la década anterior, con vistas a determinar el mecanismo de aglutinación de las mezclas de moldeo en verde (Draper, Wenninger y Vingas, 1965).

La teoría del agua rígida de forma resumida, puede expresarse así: se sabe que el hecho de que la molécula de agua sea un dipolo, le permite su autoalineación ordenada a temperatura de congelación (los polos negativos de una molécula se unen a los positivos de otras y así sucesivamente). Esto también es posible a temperatura ambiente, debido a que en su estado líquido el ordenamiento del dipolo se refuerza con la presencia de fuerzas electroquímicas similares a las que se originan en la interfase líquido-sólido. Esto quiere decir que una película de agua sobre la superficie de un sólido (grano de arena), puede concebirse como una serie de capas de moléculas dipolares superpuestas. Es evidente que a medida que la distancia desde la superficie aumenta, la orientación, el grado de alineación y la rigidez de las capas disminuyen, ya que las fuerzas superficiales son menos efectivas. A cierta distancia, ya las capas poseen un grado de desorden molecular tal que se comportan como un líquido a temperatura ambiente. En cambio, las primeras capas (4 como máximo) fuertemente adheridas a la superficie y con un elevado grado de ordenamiento, se comportan como un sistema rígido. Por esa razón, se le ha denominado agua rígida (Salcines, Díaz, y Hernández, 1973).

Ahora bien, de los dos componentes sólidos de la mezcla convencional en verde, la arcilla posee un grado de dispersión mucho mayor que la arena, lo cual implica una mayor concentración de cargas en la superficie de la laminilla de arcilla. Por lo tanto, en la unión húmeda entre láminas de arcilla y granos de arena, las primeras serán las que determinarán la cantidad y posición del agua rígida. Por ello, muchos investigadores consideran correcto emplear el término de entidades agua-arcilla al referirse al elemento aglutinante en las mezclas de moldeo tradicional en verde. Partiendo de los conceptos anteriores, Wenninger dedujo y demostró que las entidades agua-arcilla deberían comportarse como un conjunto integral en respuesta a las cargas externas. Siguiendo el mismo razonamiento, debía esperarse que las variaciones en el contenido de humedad produjeran variaciones correspondientes en la resistencia mecánica de la mezcla en verde y en su densidad. Para ello, propuso la molida continua de la mezcla a partir de valores altos de humedad. Lo anterior, como es de suponer, debía suceder cuando el contenido de humedad del sistema fuera tal que la aglutinación respondiera a la teoría del agua rígida, o sea, entidades agua-arcilla actuando como un sólido flexible, alrededor de los granos de arena.

La verificación de lo anterior fue el principal aporte de Wenninger y puso en evidencia que la capacidad aglutinante de cada laminilla de arcilla (resistencia en verde de la mezcla) estaba relacionada con el cociente agua/arcilla de su estructura. Quedó evidenciado, además, que la adsorción (o desadsorción) del agua se produce mediante su incorporación (o eliminación), por capas, dentro de la entidad agua-arcilla. Finalmente, se estableció que la primera capa se adhiere para una relación agua/arcilla de 0,15; la segunda a una relación 0,30; la tercera a 0,45, y la cuarta a 0,60.

Como es de suponer, el acomodo de cada capa de agua (en forma de agua rígida) implica el hinchamiento (hidratación) de las placas de arcilla. Se comprobó que cada capa de agua rígida incrementaba el espesor de la celda unitaria de bentonita, en la dirección en que se expande, en $3 A^\circ$. Partiendo de que la celda unitaria de bentonita mide $9,5 A^\circ$, se verificó que la primera capa de agua rígida la expansionaba hasta $12,5 A^\circ$; la segunda hasta $15,5 A^\circ$, y así sucesivamente. Esto constituyó otro aporte importante a la teoría y se debió a los trabajos de Keenan, Mooney y Wood, pero su mayor importancia fue de índole práctica.

Si el comportamiento era como hasta aquí se ha descrito, entonces el valor de la densidad de la mezcla se convertiría en un indicador capaz de establecer el momento (tiempo de mezclado) en que la mezcla pasaba, por pérdida o ganancia de humedad, de una cantidad de capas a otra, o lo que es igual, las cargas superficiales que existen en las laminillas (plaquetas) de arcilla y en la superficie de los granos de arena, sobre todo en las primeras, convierten los pequeños incrementos (o decrementos) de humedad en estructuras moleculares ordenadas (agua rígida), lo cual crea condiciones para que se cumpla que la mezcla arena-arcilla-agua posea un punto de mínima densidad. El punto de mínima densidad se corresponderá con un contenido máximo de agua rígida. Las variaciones de densidad en la probeta (alteración del número de capas de agua rígida) implicarán variaciones en las propiedades de la mezcla (resistencia a compresión en verde, en seco, permeabilidad, etcétera).

Algunos investigadores, sin embargo, consideran que la cuarta capa (relación 0,6) ya no tiene un comportamiento típico y actúa como una capa débil. Todo lo anterior fue debidamente confirmado a escala experimental.

Como se habrá podido apreciar, el requerimiento óptimo de agua en la mezcla de moldeo y la forma en que éste influye en el conjunto de propiedades de la mezcla, se convirtió en un objetivo de alta prioridad. Fue en esas circunstancias cuando el ensayo de compactibilidad alcanzó la preeminencia que conserva hasta nuestros días. A medida que la mezcla de moldeo pasaba de sistemas de cuatro o tres capas a sistemas de dos o una capa, el ensayo de compactibilidad demostró poseer la sensibilidad necesaria para reflejar, con bastante precisión, el proceso que estaba teniendo lugar. Se pudo establecer, entonces, que la resistencia a compresión en verde y el ensayo de compactibilidad a 3 golpes, constituyen índi-

ces confiables de en qué medida una cierta cantidad de arcilla (sustancias coloidales capaces de absorber humedad), se transforma en entidades agua-arcilla y desarrolla determinada capacidad aglutinante; todo ello en condiciones de molida o preparación de la mezcla que garanticen el total recubrimiento de los granos por el aglutinante.

Lo anterior tuvo como resultado práctico el desarrollo de diferentes nomogramas donde se relacionan los parámetros antes señalados. Dos de los más conocidos son los elaborados por A. P. Volkmar (Flores, J., 1978; Salcines, C. M., 1985), para la determinación de los contenidos de arcilla activa y efectiva, en las mezclas de moldeo. En el primero de ellos (arcilla activa), se relacionan la resistencia a compresión en verde de la probeta a 3 golpes, la humedad de la mezcla y el contenido de bentonita (partículas menores de 22 mm), y en el segundo (arcilla efectiva), la resistencia a compresión en verde de la probeta a 3 golpes, la compactibilidad de la mezcla y el contenido de bentonita. Estos nomogramas han sido objeto de estudio en nuestro país y se han evaluado mediante el empleo de arcillas cubanas (Salcines, C. M., 1987); sin embargo, no debe olvidarse que la forma más efectiva de conocer el verdadero contenido de arcilla activa, es el llamado ensayo de azul de metileno (Tarquino, T. y D. Bolding, 1969).

En este punto se impone una precisión. El contenido de arcilla total en la mezcla no implica sólo a la sustancia aglutinante que recibe este nombre (Granlund, M. J., 1999); por el contrario, se refiere a todos los materiales

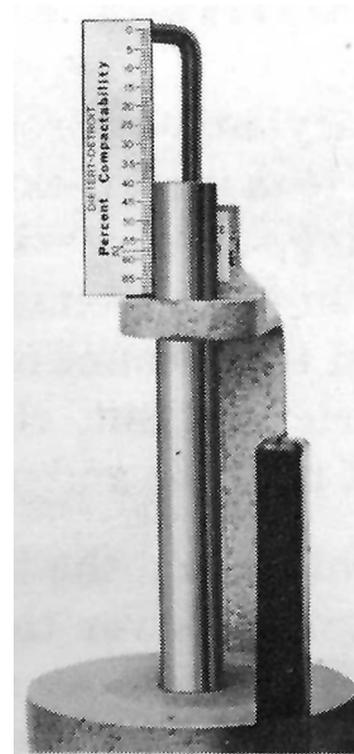


Figura 2. Escala para la lectura directa del valor de compactibilidad.

presentes en la mezcla de moldeo capaces de absorber humedad, aunque no posean capacidad aglutinante. Lo anterior abarca aditivos, arcilla quemada (en arenas de retorno), arcilla viva, etc. Por ejemplo, la arcilla quemada (muerta) no aglutina, o sea, no participa en la resistencia, pero es capaz de absorber humedad. Por esa razón, algunos prefieren denominar a la arcilla activa como arcilla disponible, aunque aquí el término arcilla tiene más bien un carácter general.

Así pues, el gráfico de Volkmar para determinar arcilla activa se refiere al conjunto de sustancias que de una forma u otra pueden desarrollar capacidad aglutinante en dependencia, sobre todo, de la calidad del proceso de mezclado. Ahora bien, de ese conjunto aquella porción que después del mezclado y de la correspondiente adición de agua desarrolla capacidad aglutinante es la que se conoce como arcilla efectiva. Por ese motivo, se reconoce como un índice de la eficiencia del proceso de mezclado el resultado de dividir el valor de la arcilla efectiva entre la arcilla activa, multiplicado por 100. O sea, mientras más eficiente y enérgico sea el mezclado menor será la diferencia entre ambos contenidos de arcilla. Naturalmente, en el proceso de mezclado influyen otros factores que actúan sobre la eficiencia (estado técnico de la mezcladora, temperatura, fenómenos de segregación, etc.). Por ejemplo, se considera que por encima de 45-50°C de temperatura en la arena la aglutinación se dificulta y a más de 70°C, prácticamente no se produce. Por esa razón adquiere cada vez mayor importancia el valor del cociente arena/metal con el que se obtiene una determinada pieza fundida (Pickrell, K. C. et al., 1999). Todo lo anterior tuvo una influencia considerable en el diseño y construcción de nuevos modelos de equipos de mezclado.

Sobre el ensayo de compactibilidad

Es conocido que el índice de compactibilidad está directamente relacionado con el consumo de energía necesario para producir un molde o un macho. O sea, está relacionado con el comportamiento de la mezcla de moldeo en la operación de producir el llamado molde de arena. Esto equivale a decir que, en cierta medida, de esta propiedad depende la productividad de moldeadores y macheros. Conceptualmente, la compactibilidad de una mezcla de moldeo es la propiedad que mide la deformación que ésta experimenta, en verde, cuando por efecto de cargas externas sufre una deformación de tipo plástico. El objetivo del ensayo de desmoldeabilidad es medir la magnitud, expresada en porcentaje, de dicha deformación.

El ensayo más universalmente aceptado de compactibilidad (Granlund, M. J., 1999), consiste en llenar un tubo normalizado (4,75 pulgadas de altura y 2 pulgadas de diámetro interior, según la norma AFS), con mezcla de moldeo desmenuzada (cribada). Con ese fin, la mezcla que ha de llenar el tubo primero se hace pasar por un tamiz (0,075 pulgadas de luz) montado a una altura constante sobre el tubo. A este fin, y según se muestra en la figura 1, se recomienda (Dietert, H.W., 1971) construir un dispositivo compuesto de un embudo con un fondo de

igual diámetro que el tubo de ensayo colocado debajo de él. La parte superior del embudo lo constituye un tamiz de 0,075 pulgadas de luz. Luego de llenado el tubo con la mezcla de moldeo suelta (tamizada) se debe enrasar el borde superior del mismo para eliminar el exceso de mezcla. Posteriormente, se compacta la mezcla contenida en el tubo mediante 3 golpes del pisonador de probetas. La distancia desde el borde superior del tubo hasta la superficie de la mezcla compactada, expresada en porcentaje de la altura del tubo, es la medida de la compactibilidad de dicha mezcla. Se puede colocar una regla graduada en la parte superior del pisonador, con la cual se determina la distancia a la superficie de la mezcla compactada (Fig. 2) y obtener directamente el porcentaje de compactibilidad. Como hemos señalado antes, este ensayo posee un significado práctico importante. En primer lugar, como el ensayo es independiente de la gravedad específica de la arena (tipo de arena), resulta más representativo que el ensayo de densidad a granel para medir el requerimiento de humedad en una mezcla, de moldeo. Por otra parte, su sensibilidad está dada por el hecho de que al variar el contenido de humedad de la mezcla el espesor del recubrimiento de agua-arcilla variará consecuentemente y con ello la respuesta a las cargas externas del sistema en su conjunto.

La correlación demostrada entre la resistencia a compresión en verde y la compactibilidad para definir el aglutinante que realmente trabaja en la mezcla de moldeo (arcilla efectiva), ha llevado a algunos investigadores (Dietert, H. W., 1971) a proponer un valor o índice de aglutinación expresado por el producto de la resistencia a compresión en verde y la compactibilidad. Este índice se considera un parámetro útil para el control de las mezclas de moldeo en la planta procesadora.

Sobre la resistencia en verde y la humedad

Se ha visto que el ensayo de compactibilidad reproduce la forma en que un volumen fijo de mezcla de moldeo reacciona ante una entrada fija de energía, lo cual con bastante aproximación reproduce la acción que una máquina de moldear realiza sobre un volumen de mezcla colocado dentro de una caja de moldeo. A su vez, esta entrada de energía es lo que confiere a la mezcla de moldeo resistencia en verde, lo que está directamente relacionado con la relación agua/arcilla existente en la misma. Esta relación es íntima en tanto sólo en presencia de agua es que la arcilla (o bentonita) desarrolla su capacidad plástica (aglutinante). Además de esto, en el sistema pieza fundida-molde la humedad de la mezcla se constituye en el principal agente regulador del enfriamiento y la extracción del calor. A partir de esto último, no es difícil comprender que para un área determinada de moldeo-colada el consumo de agua se relaciona directamente con la producción anual de piezas fundidas de dicha área.

El contenido de humedad debe ser rigurosamente controlado mediante el ensayo correspondiente, por cuanto el agua presente en la mezcla es una de las principa-

les fuentes de defectos en las piezas fundidas. Se estima que con excepción de la granulometría de la arena, la humedad de la mezcla tiene influencia, directa o indirecta, en el resto de las propiedades de las mezclas de moldeo. No se describen aquí los ensayos para determinar la resistencia a la compresión en verde y la humedad de una mezcla de moldeo por considerarlos suficientemente conocidos.

CONCLUSIONES

Los tres ensayos analizados se han constituido en los medios más empleados para medir el efecto real de la adición de arcilla (bentonita) a una arena de moldeo. La práctica ha demostrado que mediante ellos, y en particular mediante el ensayo de compactibilidad, se logra definir con bastante aproximación la forma en que el sistema arena-arcilla-agua alcanza condiciones óptimas de aglutinación.

El ensayo de compactibilidad ha demostrado ser una medida idónea del grado de preparación de una mezcla de moldeo y constituye un índice de referencia para la determinación de la demanda de humedad de cualquier mezcla. En este sentido, sólo se le puede comparar al ensayo de moldeabilidad.

El establecimiento y desarrollo posterior de la teoría de la aglutinación mediante el concepto de agua rígida ha influido notablemente sobre la forma de controlar los contenidos de arcilla activa y efectiva en las mezclas de moldeo, sin olvidar el aporte que en su momento constituyó el llamado ensayo de azul de metileno como vía precisa para establecer el contenido de arcilla activa. De igual

forma, los estudios sobre la aglutinación han conducido al perfeccionamiento en el diseño de los equipos de mezclado. La tendencia predominante ha sido el incremento de la velocidad de mezclado (reducción del tiempo) con el objetivo esencial de reducir las diferencias entre la arcilla latente (activa) y la que realmente ejerce capacidad aglutinante (efectiva).

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, F., I. MURO: "Arenas de fundición", en Suplemento de la revista *Fundición*, Madrid, 1970.
- DIETERT, H. W.: "Tube filler accessory", Catalog 12, Detroit, 1971.
- DRAPER, A. B., C. E. WENNINGER Y G. J. VINGAS: "¿Cómo es afectado el mecanismo de aglutinación de las arenas en verde por la relación agua-arcilla?", Simposium de la American Foundrymen's Society, Transaction AFS, 1965.
- FLORES, J.: "Arenas de moldeo y su control", *Moldeo y Fundición*, año 1, no. 3, diciembre, 1978.
- GRANLUND, M. J.: "Understanding the basics of green sand testing", *Modern Casting*, March, 1999.
- PICKRELL, K. C. et al.: "Tips for auditing your green sand system AFS. Green Sand Molding Committee", *Modern Casting*, 89 (3) 1999.
- SALCINES, C. M., R. DÍAZ, y M. HERNÁNDEZ: "Obtención de parámetros óptimos en mezclas de moldeo", Informe de investigación, Facultad de Tecnología, UCLV, 1973.
- SALCINES, C. M.: *Tecnología de fundición*, t. 1, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1985.
- SALCINES, C. M. y otros: "Estudio comparativo de dos métodos para determinar la arcilla activa en las mezclas de moldeo", *Construcción de Maquinaria*, año XII, no. 4, 1987.
- TARQUINO, T. Y D. BOLDING: "Sand control with the methylene blue test", *Foundry*, February, 1969.
- WENNINGER, C. E. y N. J. LANG: "Investigación en arena-bentonita-agua. Conceptos básicos agua-arcilla", *Transaction A.F.S.*, 77, 1969.
- WENNINGER, C. E.: "Una aproximación fundamental al control de las arenas de fundición", *Colada*, enero 1972.