



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

TFM18020133

**PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD EN HORMIGONES
REFRACTARIOS**

Dña. RODRÍGUEZ MORENO, Alba

TUTOR: Dña. Covadonga Betegón Biempica

FECHA: Julio 2018

ÍNDICE DE LA MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA	2
1 INTRODUCCIÓN	6
1.1 ANTECEDENTES	6
1.2 OBJETO DEL PROYECTO	6
1.3 EMPLAZAMIENTO	6
1.3.1 Misión, visión, valores.....	6
2 CLASIFICACIÓN MATERIAS PRIMAS	8
2.1 MATERIAS PRIMAS	8
2.1.1 Naturales.....	8
2.1.2 Calcinadas	9
2.1.3 Sintéticas.....	10
2.2 AGENTES LIGANTES.....	12
2.3 ADITIVOS	13
2.3.1 Acelerantes	13
2.3.2 Retardantes.....	13
2.3.3 Fluidificantes	14
2.3.4 Plastificantes	14
2.3.5 Fibras.....	14
3 CLASIFICACIÓN HORMIGONES	16
3.1 SEGÚN FORMATO	16
3.2 SEGÚN INSTALACIÓN	17
3.2.1 Gunitable.....	17
3.2.2 Vertido	18
3.2.3 Manual	19

4	PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD	21
4.1	TOMA DE MUESTRAS	23
4.1.1	Material y equipos	23
4.1.2	Desarrollo.....	23
4.1.3	Responsabilidades	26
4.2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS	27
4.2.1	Material y equipos	27
4.2.2	Desarrollo.....	27
4.2.3	Cálculos	30
4.2.4	Registros.....	31
4.2.5	Responsabilidades	33
4.3	PREPARACIÓN DE PROBETAS A PARTIR DE MATERIALES NO CONFORMADOS	34
4.3.1	Material y equipos	34
4.3.2	Desarrollo.....	36
4.3.3	Registros.....	43
4.3.4	Responsabilidades	45
4.4	CONTROL DE CEMENTOS	46
4.4.1	Material y equipos	46
4.4.2	Desarrollo.....	46
4.4.3	Registros.....	49
4.4.4	Responsabilidades	50
4.5	DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE, POROSIDAD ABIERTA Y TOTAL CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROBETA	51
4.5.1	Desarrollo.....	51

4.5.2	Registros.....	58
4.6	TEST DE FRAGUADO.....	60
4.6.1	Material y equipos	60
4.6.2	Desarrollo.....	60
4.6.3	Responsabilidades	60
4.7	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FRÍO EN DENSOS.....	62
4.7.1	Material y equipos	62
4.7.2	Desarrollo.....	63
4.7.3	Cálculos	65
4.7.4	Registros.....	65
4.8	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FRÍO DE AISLANTES.....	67
4.8.1	Material y equipos	67
4.8.2	Desarrollo.....	67
4.8.3	Cálculos	68
4.8.4	Registros.....	69
5	BIBLIOGRAFÍA	71

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El control de calidad es un procedimiento que afecta al fabricante y al consumidor. El fabricante ha de comprobar la validez de sus productos y el consumidor que el material adquirido cumple con los requerimientos de calidad previamente establecidos. En él debe reflejarse que la calidad del producto cumple los parámetros de control para asegurar que su futuro comportamiento sea el deseado.

1.2 OBJETO DEL PROYECTO

El desarrollo del presente proyecto tiene por finalidad describir y estandarizar la actividad a desarrollar y justificar las soluciones adoptadas para el control de calidad de hormigones refractarios recién fabricados, cumpliendo con todas las normas establecidas por la legislación vigente.

1.3 EMPLAZAMIENTO

El desarrollo del proyecto tendrá lugar en una fábrica de hormigones refractarios de Pasek España S.A.U. en Llodares (Castrillón).

1.3.1 Misión, visión, valores

La misión recoge el trabajo que la empresa desarrolla en el mercado, y puede enfocar también a quién va dirigido y lo que la diferencia del resto. Pasek realiza una actividad plurisectorial dedicada a diseñar, fabricar y aplicar una completa gama de tecnologías de instalación y de productos refractarios de alta calidad, consiguiendo así la máxima flexibilidad del sector industrial. El análisis de los componentes base, los ensayos de materiales y el desarrollo de nuevos conceptos, resaltan el continuo compromiso de la empresa en cuanto a innovación y mejora de sus tecnologías y productos. Su concepto de servicio se fundamenta en la “flexibilidad global”, respondiendo a las necesidades sectoriales con soluciones de la máxima calidad.

La visión es la meta que se quiere conseguir en un futuro. Mediante la búsqueda de la excelencia y la integridad, gracias a la innovación y a la implementación de nuevas técnicas productivas como Lean manufacturing y SS, Pasek persigue el liderazgo en el sector.

La formación de sus trabajadores y la fidelización de clientes son otros dos objetivos primordiales para la empresa.

Los valores son los principios éticos sobre los que la empresa quiere trabajar y permiten elaborar unas pautas de comportamiento. En Pasek España son conscientes de la importancia de dichos principios éticos, de los valores de las personas y creen en la responsabilidad de un comportamiento ético como aval de confianza de cara a sus grupos de interés (stakeholders). Por todo esto han dado un paso adelante en responsabilidad y transparencia, creando un sistema “Corporate Compliance” que, a través de su Código de Conducta representa su compromiso fundamental con el cumplimiento, en el desarrollo de la actividad, de las normativas legales vigentes así como de las que reflejan su esencia, siendo esto especialmente importante en el momento clave de expansión internacional.

2 CLASIFICACIÓN MATERIAS PRIMAS

2.1 MATERIAS PRIMAS

Se conocen como materias primas a la materia extraída de la naturaleza y que posteriormente se utilizara en un proceso de fabricación para elaborar otros productos (bienes de consumo).

En el caso de la fabricación de hormigones refractarios las materias primas utilizadas son de origen mineral y pueden encontrarse en cuatro modos diferentes: naturales, calcinadas o sintéticas.

2.1.1 Naturales

Las materias primas naturales son las que están listas para su uso sin necesidad de ser refinadas, procesadas o validadas en crudo para ser trabajadas. Dentro de este subgrupo las que se utilizarán para el proceso de fabricación de los hormigones refractarios son las mostradas a continuación.

La arena de sílice es el componente mayoritario de la corteza terrestre ($\approx 60\%$) de ahí su consumo masivo. Puede encontrarse sola o formando silicatos con otros óxidos (especialmente la alúmina).

Las arcillas refractarias tienen como propiedad fundamental la plasticidad natural que poseen. Es muy importante que tengan bajos contenidos en óxidos fundentes (Fe_2O_3 , Na_2O y K_2O) ya que son materiales destinados a resistencia a altas temperaturas. Son muy importantes las arcillas caoliníticas por su transformación en mullita $\approx 1200^\circ\text{C}$. Cuando se someten a un proceso de calcinación se obtienen las arcillas calcinadas o chamotas.

También se puede utilizar materiales del grupo de la silimanita que son silicatos de aluminio naturales formados por bauxitización parcial de arcillas refractarias. Son unos de los mejores precursores de mullita que existen. La andalucita se transforma en mullita sobre 1400°C con una expansión del 6-7 %. La cianita se transforma en mullita sobre 1400°C con una expansión del 22-23 %. La silimanita se transforma en mullita sobre 1530°C con una expansión del 12-13 %.

Las cromitas son un conjunto complejo de espinelas representadas por la fórmula: $(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{O} (\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_{2\text{O}_3}$. Para refractarios se prefiere una espinela rica en $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (espinela) y $\text{MgO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ (picrocromita). Los yacimientos más importantes de cromita se encuentran la ex-URSS y Sudáfrica.

La arena de zircón aparece concentrada en arenas procedentes de la erosión de rocas ígneas. Tiene una densidad de $\approx 4,5\text{g/cm}^3$ y es muy duro. Como tal silicato se descompone en ZrO_2 (zircona) y SiO_2 a partir de 1700°C . Tiene una excelente resistencia a la corrosión. Los yacimientos más importantes se encuentran en Estados Unidos, Brasil, India.

El olivino es un material con un punto de fusión de $\approx 1800^\circ\text{C}$. Tiene una densidad de $\approx 3,3\text{g/cm}^3$ y no se hidrata. Presenta una buena resistencia a la corrosión. Es muy barato. Los yacimientos más cercanos se encuentran en los países escandinavos. Se explota como aditivo de alto horno y, el de alta pureza, para fabricar refractarios.

El grafito es un material que no se moja con facilidad por escorias y metales fundidos. Es muy resistente al ataque de ácidos y álcalis e inerte en ausencia de oxígeno (se quema a más de 450°C). Se presenta en escamas y se añade a los refractarios para aumentar su resistencia química. Suele disminuir las propiedades mecánicas de los materiales a los que se adiciona.

2.1.2 Calcinadas

Las materias primas calcinadas son las que se someten a un tratamiento térmico para su posterior utilización. Dentro de este subgrupo las que se utilizarán para el proceso de fabricación de los hormigones refractarios son las mostradas a continuación.

Las arcillas calcinadas o chamotas se originan por la calcinación de arcillas más o menos refractarias. Constituyen la mayor fuente de agregados para la formulación de refractarios aluminosos. La alúmina de estas chamotas varía desde el 45-70 % Al_2O_3 constituyendo así una gran variedad. Existen diferentes tipologías y calidades según se empleen unas u otras. Cada región dispone de chamotas propias lo cual implica el carácter "local" de muchos productos.

Las mulcoas se fabrican por sinterización de caolín con gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) en hornos rotatorios. Constituyen un aporte de mullita ya transformada.

La bauxita es un mineral formado por gibbsita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) y boehmita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). El mineral con menos alúmina y más hierro se usa para el proceso BAYER para la obtención de aluminio y alúmina. El mineral con mayor contenido en alúmina y menos impurezas se destina a refractarios tras su calcinación en hornos rotatorios. Los yacimientos más importantes se localizan en Sudamérica y el sudeste asiático.

La magnesita es el mineral de partida MgCO_3 el cual se descompone a $\approx 600^\circ\text{C}$ obteniéndose el MgO (magnesia) el cual se calcina a temperaturas elevadas para favorecer su estabilización. El MgO es un óxido alcalino que funde puro a 2820°C y presenta una excelente resistencia a las escorias básicas, una alta conductividad térmica y un importante coeficiente de expansión. No se suele controlar la cantidad de Fe_2O_3 por su capacidad para

admitirlo en solución sólida. La temperatura de primera formación de fase líquida depende de la cantidad de CaO y SiO₂.

Las dolomías se obtienen por calcinación de dolomita CaCO₃·MgCO₃ 600°C (MgO), 900°C (CaO) como descarbonataciones previas y calcinación a alta temperatura con adición de Fe₂O₃ para formar una capa protectora CaO·Fe₂O₃. Es un producto muy refractario (2300°C) pero muy hidratable, muy resistente a las escorias básicas y muy barato. Su uso está muy extendido en muchas acerías como revestimiento de cuchara. Los principales yacimientos se localizan en Estados Unidos, Canadá, Europa y Méjico.

Dentro de este grupo podemos encontrar dos materiales que son considerados materia prima ligera, que se utilizan principalmente para aligerar los hormigones:

- La vermiculita es un silicato de magnesio (micas) que se obtiene por exfoliación (dilatación) del mineral natural a altas temperaturas, tiene la propiedad de exfoliarse 20 veces cuando se la calienta rápidamente ≈900-1000°C y se utiliza para aligerar hormigones aislantes y también como material ignífugo en placas prensadas.
- La perlita es una materia prima obtenida por el tratamiento térmico a altas temperaturas de una roca silíceo volcánica del grupo de las riolitas que contiene silicato de aluminio amorfo y metaestable. Tiene la propiedad de expandirse cuando se le hace pasar por un horno vertical. Se obtiene un producto con una densidad baja y se utiliza para aligerar hormigones aislantes.

2.1.3 Sintéticas

Las materias primas sintéticas son los materiales obtenidos por el hombre a partir de materiales naturales por medio de procesos físicos y/o químicos soportan altas temperaturas.

La sílice electrofundida se fabrica mediante la fusión de arena de sílice de alta pureza en hornos de gas o eléctricos. Presenta una expansión térmica muy baja por lo que se utilizará en aplicaciones con exigencia de elevado choque térmico.

La microsíllice tiene unas propiedades reológicas excepcionales por lo que ha constituido la base de los hormigones autocolables. Se utiliza como densificante al sustituir al agua de amasado. Es enormemente reactiva por su estructura amorfa.

La mullita electrofundida es el único compuesto estable dentro del sistema SiO₂-Al₂O₃. Se fabrica mediante la fusión de arena de sílice de alta pureza y alúmina del proceso BAYER en horno eléctrico de arco. El material cristaliza formando agujas que le confieren unas propiedades mecánicas excepcionales a alta temperatura. Es muy raro en la naturaleza

a pesar de ser el único silicato de aluminio anhidro estable. Se ha localizado en la isla de Mull en la costa oeste de Escocia.

La alúmina calcinada tiene impurezas 0,01-0,3 % Na_2O / 0,02 % SiO_2 / 0,01 % Fe_2O_3 , durante y tras el proceso BAYER, se fabrican alúminas reactivas, alúminas con propiedades especiales, etc. Este material es la base de los hormigones refractarios.

La alúmina tabular se fabrica mediante la sinterización de alúmina calcinada en hornos tubulares hasta temperaturas cercanas a la fusión, la alúmina forma cristales hexagonales. Existen tres tipos de alúmina tabular: De alta pureza con grandes cristales ($\approx 200 \mu\text{m}$), dopada con 0,01 % MgO con cristales más pequeños pero de un tamaño muy homogéneo (20-40 μm) y de alta densidad formada por granos esféricos.

El corindón marrón se fabrica mediante la fusión de bauxita en presencia de carbón para reducir el contenido en SiO_2 y Fe_2O_3 de la bauxita, es muy denso, sin poros, lo cual reduce el consumo de agua en hormigones refractarios, su uso se limita a 1650°C por la presencia de titanato de aluminio.

El corindón blanco se fabrica mediante la fusión de alúmina por encima de 2040°C en horno eléctrico de arco, es la forma más pura de alúmina fundida, tiene una alta refractariedad, gran resistencia a la corrosión y una gran estabilidad en volumen, se utiliza como agregado o molido, para la formulación de productos de alta calidad. Cuando se hace inyecta aire en una corriente de alúmina fundida se obtiene el corindón globular utilizado para aislamiento a alta temperatura.

La zircona electrofundida se fabrica mediante la fusión de baddeleyita (mineral) o ZrO_2 obtenido del zircón en horno eléctrico de arco. Si no se estabiliza presenta inestabilidad en volumen $\approx 1000^\circ\text{C}$ en ciclos de calentamiento-enfriamiento. Tiene una alta refractariedad (2700°C) y una elevadísima resistencia a la corrosión química. Suele estabilizarse con CaO .

La magnesia de agua de mar se extrae el magnesio del agua de mar y contiene un porcentaje del 95-99 % MgO . Presenta impurezas de CaO / SiO_2 / Al_2O_3 / Fe_2O_3 , tiene una densidad aparente 3,3-3,4 g/cm^3 y una porosidad abierta 1-2 %.

La magnesita electrofundida se prepara mediante la fusión de magnesia sinterizada en horno eléctrico de arco, la cristalización de la magnesia durante su solidificación incrementa sus propiedades y estabilidad. Sus características principales son: Excelente comportamiento térmico, excelente resistencia a la corrosión, elevada conductividad térmica y menor hidratación que la magnesia sinterizada.

Las espinelas se fabrican a partir de alúmina calcinada y magnesia sinterizada en hornos eléctricos y se suministran en grano y molidas, presentan una buena resistencia a la corrosión, no se hidrata, la formación de espinela lleva asociada una expansión importante,

la espinela rica en MgO es susceptible de hidratación, son muy importantes en la formulación de hormigones básicos y va sustituyendo al Cr₂O₃ en los refractarios MgO-Cr₂O₃.

El carburo de silicio se fabrica mediante el proceso ACHESON (≈2200°C), se disocia a 2400°C en atmósfera una reductora, en presencia de O₂ forma una cobertura vítrea (SiO₂) que lo protege, presenta una excelente resistencia a la corrosión, es extremadamente duro, por lo que es usado como abrasivo y también es un semiconductor, por lo que se usa como resistencia eléctrica.

2.2 AGENTES LIGANTES

Los agentes ligantes están formados por materiales pulverulentos artificiales de naturaleza inorgánica que reaccionan con el agua dando lugar a un producto sólido, resistente y estable, tanto en el aire como en el agua.

Existen diferentes tipos de agentes ligantes: Cementos aluminosos, alúminas hidratables, silicato sódico, ácido fosfórico y sílice coloidal.

El lignosulfonato sódico es un líquido denso de olor característico que se utiliza como aglomerante de masas prensadas.

Las resinas fenólicas son el ligante típico de ladrillos de MgO-C, generan gran cantidad de carbono residual tras el calentamiento, pueden ser líquidas o sólidas y deben ser calentadas para que endurezcan.

Las resinas furánicas pueden endurecer con calor o en frío por reacción con ácidos.

El silicato sódico (water glass) se fabrica por vía seca fundiendo sílice y carbonato sódico ≈1200°C, la relación SiO₂/Na₂O determina las propiedades que tendrá el silicato sódico. Cuando se usan como ligantes de refractarios se usan los que tienen una relación entre 2 y 3,3 y su viscosidad dependerá de esa relación y de la temperatura. Es un material que cristaliza entre 500 y 800°C y vitrifica cerca de los 1000°C, también se usa como acelerante de fraguado de hormigones.

El ácido fosfórico tiene como reacción más habitual: $Al_2O_3 + 3H_3PO_4 \rightarrow 2Al(H_2PO_4)_3 + 3H_2O$ (Entre 127-427°C), varios óxidos reaccionan con el H₃PO₄ a baja temperatura, da lugar a la denominada aglomeración química y es un material que con MgO reacciona de manera exotérmica.

El fosfato de aluminio se comercializa como líquido (disolución al 50 % en agua), no endurece a temperatura ambiente, se deshidrata a partir de 100°C y se estabiliza (deja de ser higroscópico) por encima de 350°C. Cuando se utiliza como acelerante de fraguado se

utiliza el MgO (reacción muy exotérmica). El tiempo de fraguado depende de la temperatura ambiente, de la cristalinidad y del tamaño de partícula del MgO.

El fosfato sódico presenta muchos tipos de condensación, se suministra habitualmente como un polvo blanco higroscópico, también se utiliza como ligante y como agente dispersante en los productos no conformados.

Los cementos aluminosos fueron desarrollados a finales del siglo XIX para hormigones resistentes a los sulfatos, encontraron aplicación para fines militares durante la primera guerra mundial debido a su enorme velocidad de fraguado.

Las alúminas hidratables que se comercializan como ALPHABOND, endurecen por coagulación de partículas en contacto con el agua de amasado. Al no contener cal permite formular productos monolíticos con mejores propiedades a alta temperatura.

La sílice coloidal es una dispersión coloidal acuosa de nanopartículas de sílice amorfa, el coloide se gelifica y se transforma en sólido por varios mecanismos: eliminando el agua por aumento de temperatura, cambiándole el pH o añadiendo un aditivo adecuado. Concentraciones del 30-40 % de partículas entre 8-15 nm son las que se utilizan habitualmente como “vehículo” de monolíticos.

2.3 ADITIVOS

Desde el punto de vista de la trabajabilidad y teniendo en cuenta su instalación en ciertas ocasiones es necesario utilizar aditivos para variar las características iniciales del hormigón. Existen diferentes tipos de aditivos que tienen diferentes funciones y que se añaden a las fórmulas para cambiar algunas de las propiedades iniciales del hormigón.

2.3.1 Acelerantes

Los acelerantes tienen dos propósitos fundamentales: disminuir los tiempos de fraguado (estado del hormigón fresco) e incrementar las resistencias tempranas (hormigón ya endurecido), esto sería necesario en los casos en los que existe necesidad de desencofrar rápido o cuando las temperaturas frías ralentizan el fraguado. Los beneficios en el uso de acelerantes son: acelerar el acabado para superficies, reducir la presión que ejerce el hormigón sobre las formaletas cuando se encuentra en estado fresco, permite realizar desencofrados de elementos no estructurales de forma más temprana.

2.3.2 Retardantes

Los retardantes realizan el efecto contrario, son aquellos cuya función principal es retrasar el tiempo de fraguado (inicio y final), esto es importante en zonas de obra donde se

necesite mayor tiempo o bien cuando las temperaturas aceleran el proceso. Las aplicaciones principales del retardador están en aquellos hormigones que: se coloquen en grandes volúmenes para evitar una elevación considerable de la temperatura debida al calor de hidratación, tengan que ser transportados a largas distancias ya que aumenta el tiempo de puesta en obra del hormigón y su manejabilidad, tengan unas condiciones de colocación que sean lentas por dificultades de acceso o encofrados con formas complicadas, se coloquen con temperaturas ambientales altas ya que compensa la caída rápida de trabajabilidad y en los que tengan que re-vibrarse, para evitar fisuras debidas a deformaciones del encofrado.

2.3.3 Fluidificantes

Los fluidificantes, comúnmente llamados reductores de agua, son aditivos que, por sus características, pueden producir las siguientes funciones: Aumentar la docilidad sin incrementar la cantidad de agua de amasado, disminuir el contenido de agua para la misma trabajabilidad, reducir la tendencia a segregarse del hormigón durante el transporte y disminuir la exudación, mejorar la adherencia a las armaduras, incrementar la resistencia a compresión (10-20 % a los 28 días) al permitir reducir el agua de amasado, aumentar la durabilidad y resistencia a la abrasión, retardar ligeramente el fraguado.

2.3.4 Plastificantes

Se utilizan para mejorar la manejabilidad del hormigón. La resistencia del hormigón es inversamente proporcional a la cantidad de agua añadida o al coeficiente de la relación agua cemento por este motivo, a la hora de producir hormigones más resistentes, se reduce la cantidad de agua añadida, lo que tiene como resultado mezclas de difícil manejo, por tanto se hace necesario el uso de plastificantes.

2.3.5 Fibras

Las fibras para hormigones son un producto que refuerza las mezclas, lo que reduce la formación de fisuras y grietas, aumenta la tenacidad y la durabilidad y disminuye la permeabilidad. Las fibras para hormigón están destinadas a: mejorar la resistencia a la flexotracción y a cortante, reduce la fisurabilidad por retracción en elementos superficiales, mejora la resistencia a la erosión, incrementa la resistencia a la abrasión, mejora el comportamiento del hormigón a impactos dinámicos, en algunos casos, evita la colocación de mallazo de reparto obligado en recubrimientos superiores a 50 mm, mejora de la resistencia del hormigón al choque térmico que producen las fuertes.

Las fibras que se utilizan en la fabricación del hormigón son: minerales, orgánicas y metálicas. Las más empleadas son las de acero. Las de vidrio se suelen utilizar en capas delgadas para mejorar la resistencia a tracción. Las fibras plásticas, especialmente las de polipropileno, se emplean en hormigones resistentes a choques o impactos.

Las fibras metálicas se utilizan con diferentes geometrías y su función es reforzar la estructura del hormigón aumentando la resistencia al choque térmico y a los esfuerzos mecánicos. La incorporación de este tipo de fibras también tiene los siguientes efectos: reducción de la fluidez, aumento de la resistencia mecánica a tracción, aumento de la resistencia al choque térmico y aumento de la expansión térmica.

En cuanto a las fibras orgánicas las más utilizadas son las de polipropileno y su función es quemarse y generar canales de evacuación del agua en el secado de los hormigones refractarios, su eficiencia suele mejorar al aumentar la longitud y disminuir el diámetro de la fibra (son valores habituales 6-12 mm de longitud y 10-30 μm de diámetro).

3 CLASIFICACIÓN HORMIGONES

Los hormigones refractarios son materiales formados por la mezcla de materias primas (áridos o arcillas refractarias), aditivos y ligantes.

El campo de los hormigones refractarios ha crecido de forma exponencial en los últimos años, hoy en día podemos encontrar una gran variedad de tipos con características muy diferentes entre ellos y que cumplen funciones muy diversas. La clasificación utilizada en este caso para las materias primas será según su forma de aplicación, ya que será el factor realmente importante en el caso de una fábrica de hormigones refractarios que será posteriormente utilizado en obra.

Existen dos propiedades importantes que se deben tener en cuenta a la hora de encargar hormigones: el tamaño máximo de grano (anchura máxima del tamiz por el que pasa al menos el 95 % del material), hay que tener en cuenta que un grano muy grueso o muy fino podría devaluar el hormigón y el material requerido que es la cantidad de kilogramos que se necesita para rellenar 1 m^3 .

3.1 SEGÚN FORMATO

Según formato se pueden encontrar en dos formas diferentes: conformado o no conformado.

Los hormigones conformados son materiales con una geometría precisa (se suelen suministrar en forma de ladrillos o cuñas). Son piezas que se someten a procesos de sinterización o temperización previamente a su entrega, sus fases cristalinas se transforman en el proceso de cocción, se instalan utilizando morteros de unión como cualquier pieza de albañilería y no precisan técnicas de calentamiento especiales.



Ilustración 3.1: refractarios conformados

Los hormigones no conformados son masas refractarias que no han adquirido geometría para su aplicación. Gracias a su fácil aplicación están adquiriendo cada día más importancia en el mundo industrial y su consumo ya supera al de los refractarios conformados. Son materiales que se suministran a granel, a diferencia de los conformados no se someten a sinterización previamente a su aplicación, entre la cara fría y caliente del material instalado se establece un gradiente de transformación, se pueden instalar mediante proyección, enfoscado o vibrado y precisan de procesos de secado muy controlados.

3.2 SEGÚN INSTALACIÓN

3.2.1 Gunitable

El gunitado es un sistema consistente en proyectar con un cañón o manguera de alta presión el hormigón, se puede construir sobre cualquier tipo de superficie. Una de las ventajas de esta técnica es la mayor resistencia por metro cuadrado y mayor durabilidad. Para su correcta aplicación hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones: El gunitado ha de impactar sobre la pared perpendicularmente, aplicar desde abajo hacia arriba para evitar embebido del rebote, aplicar el agua de manera que nunca se emita nada seco, hay que controlar la presión de aire requerida para bombeo ya que depende de longitud del conducto y del material, hay que gunitar a 50-80 cm de la pared.



Ilustración 3.2: hormigón refractario gunitable

Actualmente existen dos formas diferentes de aplicación por gunitado:

- Por vía seca cuyos puntos débiles son que puede existir el rechazo de material por rebote, que es necesaria una alta cualificación del personal, que es difícil el control del agua añadida y que el producto tiene menos densidad que en el caso del producto vibrado.

- Por vía húmeda (Shotcrete), es un proceso en el cual se bombea el hormigón ya mezclado, es un material muy crítico porque existe una necesidad de fluencia sin que el material fragüe y que cumpla las especificaciones de densidad y resistencia. La mezcla usada para estos hormigones es relativamente seca y se consolidaría por la fuerza del impacto. Tiene características similares al hormigón clásico (densidad aparente, resistencia a tracción y compresión y cizallamiento). Tiene mayor impermeabilidad y mayor resistencia a las bajas temperaturas. Se adhiere a la superficie de aplicación y permite obtener la forma de superficie deseada.



Ilustración 3.3: proceso de gunitado

3.2.2 Vertido

Existen dos tipos de aplicaciones de vertido según el método utilizado:



Ilustración 3.4: hormigón refractario vertido

Vibrocolable

Este tipo de materiales necesitan que se aplique una vibración a la hora de aplicarlos. Esto permite compactar el material eliminando el aire que pueda haber contenido en la masa de hormigón. Sus propiedades más características son las siguientes:

- Mejora de resistencia.
- Mejora de la durabilidad del hormigón.
- Reorganiza los componentes del hormigón.

Autonivelante

Es un material cuyas características le permiten autonivelarse, sin que sea necesario alisarlos manualmente. Son por lo general materiales más fluidos que el resto.

3.2.3 Manual

Es el método de aplicación más antiguo, existen diferentes materiales para este tipo de aplicación:



Ilustración 3.5: hormigón refractario de aplicación manual

En primer lugar aparecen los refractarios plásticos que son mezclas listas para utilizar presentando alta plasticidad. El enlace principal suele ser cerámico, químico o combinación de ambos. La gran ventaja de estos materiales es que pueden instalarse sin necesidad de utilizar encofrados. Se presentan en “pastillas” (con una apariencia similar a la plastilina) y se utiliza un martillo neumático adaptado para aplicarlas. Se suelen utilizar para revestir instalaciones donde es difícil utilizar otros refractarios.

Por otro lado existen las masas de apisonar semihúmedas o secas que son mezclas listas que deben ser instaladas por apisonado. El enlace principal suele ser cerámico, químico o combinación de ambos. Suelen instalarse sin el uso de encofrados salvo en los casos de la reparación de soleras. Normalmente se suministra a granel listo para su utilización.

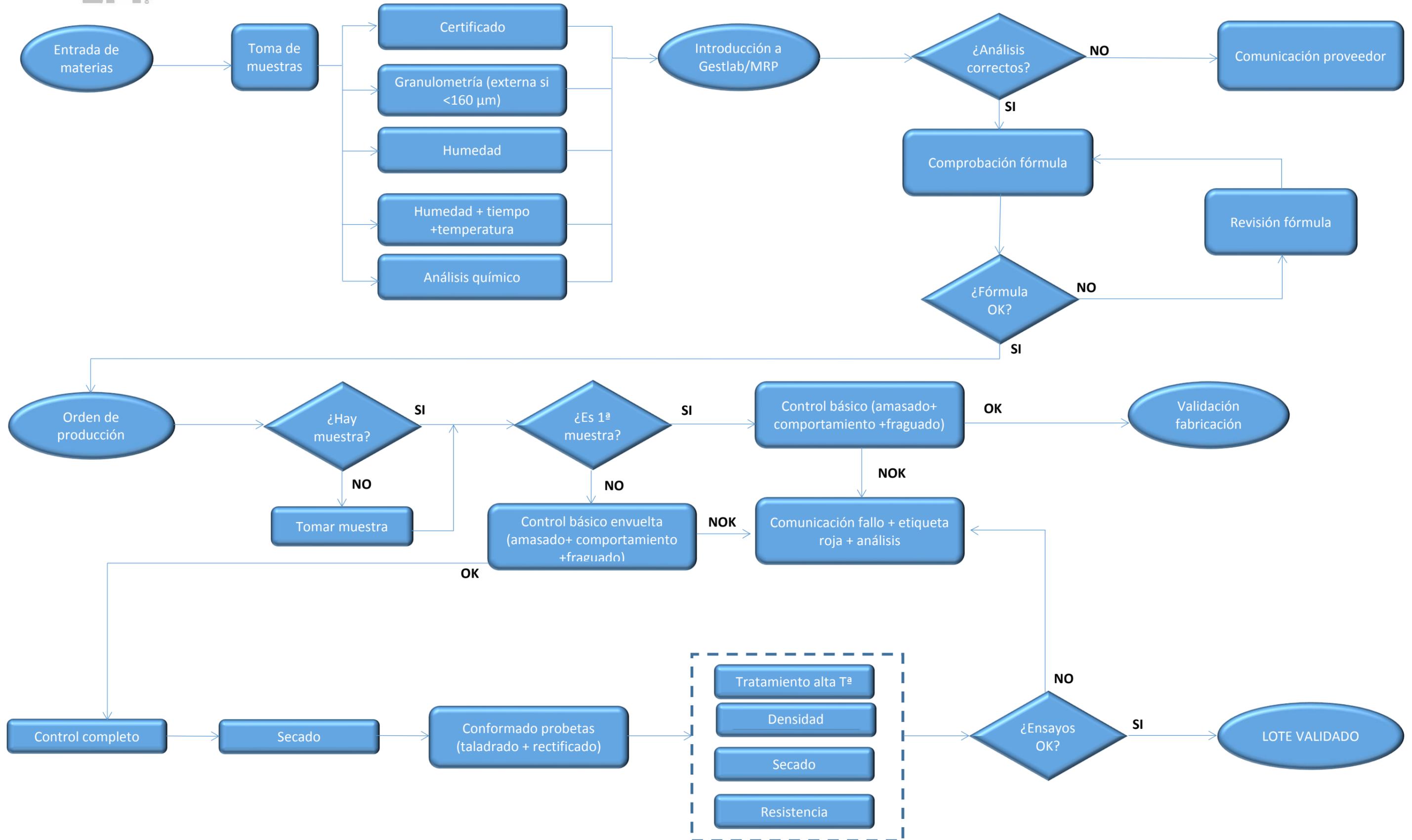
Finalmente se pueden utilizar morteros que son mezclas de materias primas de grano muy fino empleadas en la unión de los productos refractarios conformados. Su enlace principal puede ser cerámico (morteros basados en arcilla), hidráulico (morteros basados en cemento) o químico (morteros basados en silicatos o fosfatos). Los hay aluminosos, para la unión de productos sílicoaluminosos y básicos (generalmente de silicato) para la unión de ladrillos de magnesia y similares.

4 PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Se realiza el control de calidad de hormigones en un número determinado de muestras dependientes de la cantidad total a fabricar. El material fabricado se colocará en pallets (entre 1,2 y 2 toneladas). Se recogerán por tanto para análisis muestras de los pallets: 1, 2, 5, 7, 15, 30, 50, 70, 90. Se deja abierta la posibilidad de analizar pallets que no correspondan con esta lista en función del número total de pallets teniendo así la posibilidad de analizar el último pallet fabricado también pallets intermedios en caso de cualquier tipo de incidencia si fuera necesario.

El pallet más importante y que tendrá prioridad en la secuencia del control de calidad es el 2. De este pallet se obtiene la muestra que se enviará para análisis químico (no se hace sobre el primero ya que podría estar contaminado del material fabricado anteriormente), también se utilizará para validar la fabricación de ese producto. El resto se analizan para comprobar que no haya habido problemas o cambios durante la fabricación del lote completo y que las propiedades se conserven durante todo el lote sin observar ningún tipo de alteración.

La secuencia de procedimientos se resume en el siguiente diagrama de bloques:



4.1 TOMA DE MUESTRAS

4.1.1 Material y equipos

- Paletas sonda.
- Cuarteadoras.
- Balanza: con divisiones de 10 gramos o menores.
- Calibre: con incertidumbre menor de 0,1 milímetros.
- Bolsas o recipientes adecuados.
- Los propios de un departamento de toma de muestras.

4.1.2 Desarrollo

4.1.2.1 Definiciones y generalidades

Lote: Cantidad de determinada fabricación o materia prima en condiciones presumiblemente uniformes, (misma fecha, mismas condiciones de fabricación, etc.).

Muestra: Cantidad de material tomado de un lote destinado a control, para la información y toma de decisiones sobre este producto.

Muestra parcial: Cantidad de material tomado de una muestra.

Muestra global: Conjunto de muestras parciales tomadas de un mismo lote.

Muestra de laboratorio: Muestra obtenida tras la homogeneización y cuarteo de la muestra global destinada para control y ensayos de laboratorio.

La toma de muestra global estará constituida por el conjunto de muestras parciales, tomadas previamente según el procedimiento que posteriormente serán descritas. Serán conservadas en un recipiente cerrado al polvo y humedad ambiental.

Si las muestras parciales no pudieran ser reunidas todas ellas en el conjunto de la muestra global, deberán ser conservadas en sus recipientes hasta la mezcla final y su posterior cuarteo.

Distinguiremos, para la toma de muestras de materias primas y productos, las siguientes formas de envase: granel y sacos, contenedores y big-bag, líquidos en cisternas.

El muestreo deberá ser efectuado por personal especializado designado por el encargado de laboratorio y tendrá la responsabilidad del conjunto de operaciones de

muestreo, así como el etiquetado, identificación y buen uso, para su posterior control de laboratorio.

4.1.2.2 *Avisos para la toma de muestras*

Avisos para productos acabados

Antes de proceder a fabricar un producto no conformado, el jefe de fabricación pasará aviso al encargado de laboratorio, de que comenzará una nueva fabricación, para que éste último realice el correspondiente control de primera envuelta, (análisis granulométrico y/o test de fraguado), deteniendo la fabricación si se encuentra alguna anomalía a juicio del encargado de laboratorio y procediendo a las correcciones que sean preciso.

El jefe de fabricación, próximo a la finalización de la fabricación, pasará nuevo aviso a laboratorio, para que se efectúe la recogida de muestras globales, sobre las que se realizarán el resto de ensayos preceptivos.

Avisos para materias primas

El jefe de fabricación pasará aviso al encargado de laboratorio, o en su defecto al responsable de la toma de muestras, a la llegada de una materia prima (antes de la descarga); poniéndose ambos de acuerdo sobre el momento idóneo para la toma de muestras.

El jefe de fabricación facilitará las hojas de ruta, cubiertas en los apartados que les correspondan en el momento de la toma de muestras.

4.1.2.3 *Toma de muestras*

4.1.2.3.1 Toma de muestras de materias primas

En el caso de las materias primas a granel las muestras parciales serán de aproximadamente 0,5 Kg y se sacarán por medio de una sonda o paleta uniformemente distribuidas en la proyección de la pila, de manera que estén representados los estratos de cabeza, centro y fondo; obteniendo una muestra después de mezclado y cuarteo de unos 5 Kg aproximadamente de muestra para laboratorio.

Si la toma de muestras se efectúa sobre sacos, big-bag o bidones, los desmuestres parciales se efectuarán sobre unidades del lote, obteniendo de la muestra global, tras mezclado y cuarteo, unos 6 Kg aproximadamente de muestra para laboratorio.

De cada lote se extraerán el número de muestras siguientes:

Unidades del lote	Nº muestras
5	1
10	2
20	3
Cada +20uds 1 adición	1

Tabla 4-1: muestras a obtener

4.1.2.3.2 Toma de muestras de productos acabados

Si el producto acabado está a granel, las muestras parciales se sacarán por medio de una sonda o paleta, uniformemente distribuida en la proyección de la pila, de manera que estén representados los estratos de cabeza, centro y fondo, obteniendo de la muestra global después de cuarteo unos 5 Kg aproximadamente que pasarán a ser muestra de laboratorio.

Si el producto acabado se encuentra en sacos, big-bag o contenedores la muestra global estará constituida por muestras parciales tomadas de acuerdo con el siguiente plan:

Unidades del lote	Nº muestras
5	1
10	2
20	3
Cada +20uds 1 adición	1

Tabla 4-2: toma de muestras por lote

4.1.2.4 *Preparación de las muestras*

La muestra de laboratorio obtenida debe someterse en algunos casos a una preparación previa a los ensayos que se vayan a realizar.

4.1.2.4.1 Preparación para análisis granulométrico

Se procede a una reducción por cuarteo de la muestra, hasta obtener la cantidad indicada en la instrucción correspondiente, usualmente 100-200 g.

4.1.2.4.2 Preparación para análisis químico

Antes de someter la muestra a la molienda final, debe reducirse el tamaño máximo de grano a menos de 6 mm mediante machaqueo, bien manualmente con martillo o más deseable, pasando toda la muestra por la machacadora de mandíbulas de laboratorio.

Después de esta molienda primaria, se procede a un segundo cuarteo, hasta obtener aproximadamente 50-100 g para su molienda última hasta menos de 0,100 mm con molino de disco.

Si la molienda final se efectúa con molino de bolas o de mortero, el tamaño máximo de alimentación de aquél no debe superar 1 o 3 mm, dependiendo de la naturaleza del material. Para lograrlo, se efectúa un nuevo cuarteo después de la primera molienda y sobre esta muestra reducida se procede a una segunda molienda.

En ningún caso debe reducirse el tamaño de grano de la muestra por cribado.

4.1.2.5 *Identificación y etiquetado*

Inmediatamente después de haber obtenido la muestra para laboratorio, tras mezclado y cuarteo de la muestra global, se identificará la misma y se llevará a laboratorio para que se realicen los ensayos oportunos.

El etiquetado será realizado por el mismo personal especializado que el encargado de laboratorio haya designado para la toma de muestras.

4.1.2.5.1 Identificación y etiquetado de productos acabados

La muestra global, llevará de manera visible en la bolsa o recipiente, la fecha de fabricación con seis dígitos, así como el nombre del producto y el nº de registro de laboratorio.

4.1.2.5.2 Identificación y etiquetado de materias primas.

La muestra global, llevará puesta de manera visible en la bolsa o recipiente la mayor información posible que garantice su trazabilidad (fecha de entrada, con seis dígitos, número de albarán, nombre del producto) y el número de registro de laboratorio.

4.1.3 Responsabilidades

El jefe de fabricación debe avisar al laboratorio del inicio y final de una nueva fabricación y de cada recepción de materia prima, para que se efectúen las recogidas de muestras correspondientes.

El encargado de laboratorio debe asegurarse de la recogida de muestras, su identificación y correcto tratamiento posterior.

4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS

4.2.1 Material y equipos

- Tamizadora electromecánica.
- Tamices de 203 mm de diámetro y de malla cuadrada.
- Balanza granatario de 0-2 kg de capacidad e incertidumbre menor de 0,1 g.
- Balanza de plato de 0-3 kg de capacidad y sensibilidad e incertidumbre máxima de 1 g.
- Balanza de plato de 0-10 kg de capacidad y sensibilidad e incertidumbre máxima de 80 g.
- Estufa de secado a 110 ± 10 °C y dotada de salida de vapores.
- Desecador



Ilustración 4.1: muestras y tamizadora electromecánica.

4.2.2 Desarrollo

Se entiende por composición granulométrica, las proporciones de material retenidas entre dos tamices expresado en % de masa de materia seca.

La determinación por vía seca se fundamenta en la retención de las partículas en una malla de abertura o “luz” menor que aquella que bajo la acción de un movimiento de

zaranda o vaivén permite que las partículas rueden sobre la citada malla hasta que todas las de tamaño inferior pasen por ella.

Por vía húmeda el arrastre de las partículas y su desagregación se consigue por la incidencia sobre el material a analizar de una suave corriente de agua que las mantiene en suspensión.

4.2.2.1 Preparación de la muestra

Se tomará una cantidad de muestra (según lo establecido en 4.1), tras cuarteo de la muestra global o de la muestra de laboratorio, acorde con el tamaño máximo de grano y que a título orientativo se indica en la siguiente tabla:

Tamaño máximo grano (mm)	Peso muestra (g)
0,1	50
1,0	100
10	250
15	500
> 15	1000

Tabla 4-3: Pesos muestra dependiendo del tamaño.

Después de secada la muestra a $110 \pm 10^\circ\text{C}$ se deja enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente, se pesa la muestra con una precisión de $\pm 0,1$ g, en el caso de muestras menores de 1 kg y se pasa a la columna de tamices.

Ciertos materiales hidratables no deben ser sometidos a ningún proceso de secado. En estos casos se indicará si procede algún tratamiento previo.



Ilustración 4.2: muestra preparada para ensayo

4.2.2.2 Tamizado vía seca

Fijamos la columna de tamices y el fondo ciego sobre la tamizadora, vertemos la muestra sobre ella y tamizamos durante 12-15 minutos.

Se ayudan a pasar los granos aún retenidos cepillando suavemente los tamices más finos y desprendiendo aquellos más gruesos que se encuentren encajados en las mallas. A continuación se trasvasa el material retenido en cada uno de los tamices a la balanza y se pesa.

El material recogido en el fondo ciego se denomina “menor que el último tamiz”.

4.2.2.3 Tamizado vía húmeda

Este procedimiento no es aplicable a materiales susceptibles de hidratación sin tomar especiales precauciones que se detallarán para cada material en particular.

4.2.2.3.1 Materiales de grano <0,5 mm.

1. Pondremos la muestra sobre los tamices de 0,5 - 0,2 - 0,1 - 0,08 - ... y el plato de salida libre de líquido, fijando éstos junto a la tapa dosificadora de H₂O a la tamizadora.
2. Regulamos un tiempo de tamizado entre 14 - 15 minutos, abriendo el H₂O con un caudal suficiente para un buen lavado.
3. Pasado este tiempo, pasaremos el retenido de cada uno de los tamices a recipientes individuales (previamente identificados con el número de tamiz al que corresponda) regándolos por la base.

4. Dejamos decantar y vertemos nuevamente el H₂O sobrante, metiéndolos entonces a secar a 110 ± 10°C hasta peso constante para su posterior cálculo.

4.2.2.3.2 Materiales de grano < 10 mm.

1. Se deposita la muestra sobre el tamiz de 0,08 (pudiendo colocarse también uno de 0,125 con el único fin de proteger al 0,08) y el plato de salida libre, colocamos la tapa dosificadora de H₂O y fijamos el conjunto sobre la tamizadora.
2. Regulamos un tiempo de tamizado entre 15 - 14 minutos. y abrimos el H₂O con un caudal suficiente para un buen lavado.
3. Una vez efectuado el tamizado, pasamos el retenido en los tamices a un recipiente regándolos por la base.
4. Dejamos decantar la muestra y vertemos suavemente el H₂O sobrante, metiendo entonces a secar a 110 ± 10°C hasta masa constante, dejándolas enfriar hasta temperatura ambiente en ausencia de humedad.
5. Pasamos a continuación esta muestra por la cascada de tamices de vía seca y procediendo como en el punto 4.2.2.2.
6. En el caso de que nos interese conocer la distribución granulométrica por debajo de 0,08, recogeremos el H₂O de vertido junto a los sólidos, arrastrándolos en un recipiente que verteríamos (regando bien) sobre la cascada descrita en 4.2.2.3.1. y procediendo en todos sus pasos.

4.2.3 Cálculos

El porcentaje del retenido en cada tamiz nos viene dado por la siguiente expresión:

$$\% R = \frac{Pr}{Pm} \times 100$$

Ecuación 4.1: ecuación porcentual del retenido.

- Pr = Peso del retenido en cada tamiz en gramos.
- Pm = Peso de la muestra en gramos.

La fracción menor del último tamiz puede determinarse, bien por diferencia a 100 de la suma de los parciales, bien por pesada del material depositado en el fondo ciego y cálculo como en los tamices precedentes. En este caso la suma total no debe diferir de 100% en ± 0,5%.

Los resultados se expresan en % retenido entre tamices y con uno o dos decimales.

4.2.4 Registros

- Hoja de ruta para control de laboratorio de materias primas y productos terminados.



GRANULOMETRÍA

LOTE	PRODUCTO	PALLET	5000 (μm)	4000 (μm)	3000 (μm)	2000 (μm)	1000 (μm)	500 (μm)	200 (μm)	100 (μm)	80 (μm)	FONDO

4.2.5 Responsabilidades

El encargado de laboratorio deberá realizar las siguientes tareas:

- Asegurarse de la correcta realización de ensayos, identificación de productos y toma de muestras.
- Registro y archivo de los resultados obtenidos.

4.3 PREPARACIÓN DE PROBETAS A PARTIR DE MATERIALES NO CONFORMADOS

4.3.1 Material y equipos

- Amasadora: de cuba, tipo giratorio, con al menos dos velocidades (45-55 y 80-100 r.p.m.). La cuba y paleta no pueden reaccionar con el producto a tratar y ha de tener una capacidad de 8 a 30 litros.
- Mesa vibradora: que permita vibraciones auxiliares (50 Hz) y doble amplitud, de $0,75 \pm 0,05$ mm.
- Apisonador: de arena AFA o FISHER con pisón de 6,4 Kg, con moldes cilíndricos de 50 mm de diámetro y 140 mm de altura.
- Moldes: Desmontables, rígidos y contruidos en material que no reaccionen con el producto refractario a examinar, así como estancos al agua. Las dimensiones interiores corresponden a ladrillos normalizados (230 mm largo, 114 mm ancho, 64 mm alto) con tolerancias de $\pm 0,5$ mm, dotado para ello de sobrealza.
- Balanzas: según la cantidad a pesar, que permitan incertidumbres menores de 0,01 g para el resto de materiales.
- Recipiente estanco: Que permita mantener atmósfera con humedad de al menos el 90%.
- Taladro de columna.
- Sierra circular.
- Mesa rectificadora.
- Los propios de un laboratorio de ensayos.

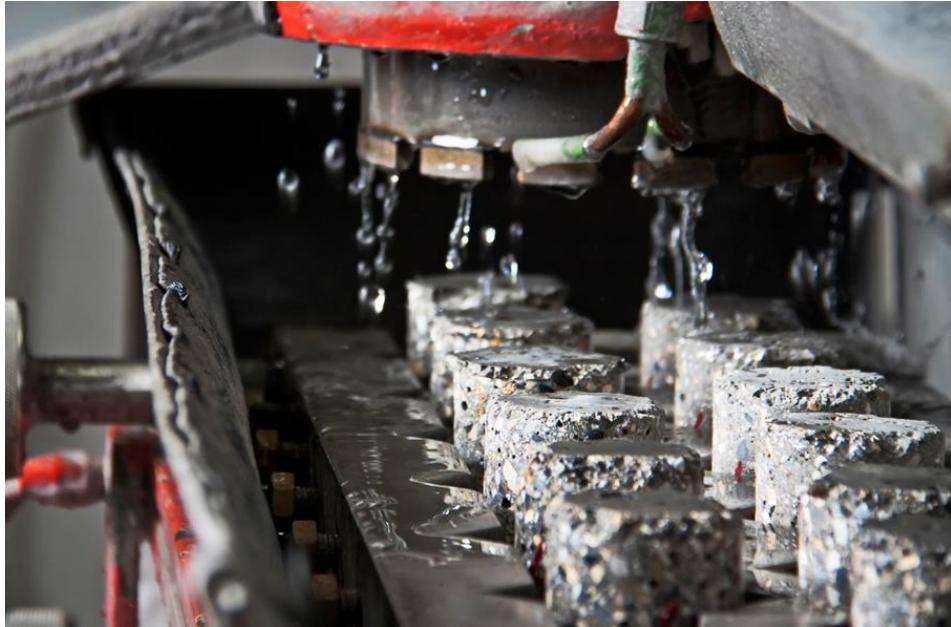


Ilustración 4.3: proceso de rectificado



Ilustración 4.4: fresa



Ilustración 4.5: probetas etiquetadas

4.3.2 Desarrollo

4.3.2.1 *Fundamento*

Preparación de la mezcla, moldeado, compactación por vibración o apisonado, curado y secado de probetas.

Las probetas serán conservadas al abrigo de la humedad, hasta la ejecución de los ensayos prescritos. En todo caso, estos se realizarán antes de tres días desde el secado de aquellas.

4.3.2.2 *Preparación de muestras*

De la muestra global, tras mezclado y cuarteo, se toma e identificada muestra de laboratorio.



Ilustración 4.6: probetas conformadas

Si el material a ensayar es de fórmula en experimentación de laboratorio, se homogeneizan por separado cada uno de los componentes y a continuación la mezcla.

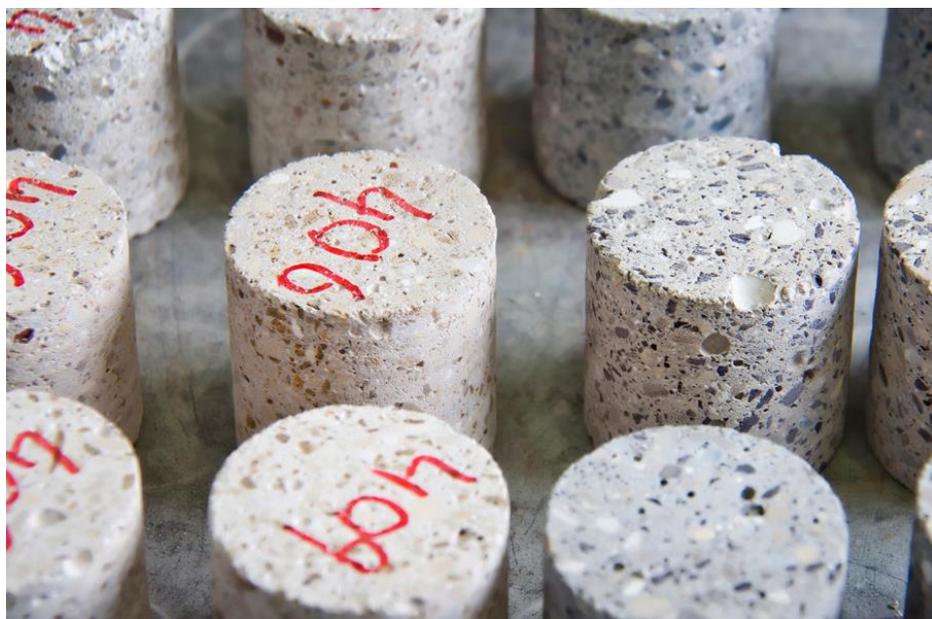


Ilustración 4.7: probetas conformadas y etiquetadas

4.3.2.3 *Hormigones hidráulicos. (Método operativo)*

4.3.2.3.1 Amasado

Para el amasado se empleará agua potable y a temperaturas entre 18 y 22°C.

Se introduce la cantidad necesaria de material seco en la cuba de la mezcladora, formando un hueco en forma de embudo. Se vierten tres cuartas partes aproximadamente, del líquido y se pone en marcha la amasadora durante 1 minuto, a la velocidad lenta y se para, si hubiera material adherido a la paleta, o en el fondo, se separa, se añade el resto de líquido y se continúa amasando durante otros 2 a 3 minutos a velocidad rápida. La duración del amasado estará limitada a la obtención de una muestra homogénea en el menor tiempo posible y en todo caso será menor de 8 minutos.

Esta mezcla, recién amasada, debe estar entre 15 y 22°C debiendo ser indicadas las posibles desviaciones en el informe de ensayo, no debiendo alejarse mucho de este intervalo las temperaturas de los materiales antes del amasado.

4.3.2.3.2 Determinación de la cantidad idónea de H₂O de amasado

El Encargado de Laboratorio tendrá un listado con los % de H₂O de referencia para cada una de las fórmulas. Los datos los tomará de los ensayos de consistencia efectuados cada vez que desarrolle una nueva fórmula y que describiremos a continuación:

4.3.2.3.2.1 MÉTODO “A” o de Embudo de flujo

- **Principio del ensayo de consistencia**

El ensayo de consistencia sirve para determinar el tiempo necesario para que fluya una mezcla, preparada con una cantidad definida de agua de amasado, a través de un embudo de flujo de forma troncocónica con las siguientes dimensiones:

Medida	Valor (mm)
Altura	150
Ø interior superior	100
Ø interior inferior	50

Tabla 4-4: dimensiones embudo

La abertura inferior de 50 mm de diámetro está cerrada por una compuerta que se abre hacia abajo. El embudo se fija a la mesa vibratoria por medio de columnas perpendiculares a la superficie de la misma y vibra en fase con ella a 50 Hz y con la misma doble amplitud de 0,75 mm.

La distancia entre el borde inferior y la superficie de la mesa debe ser suficientemente grande para que la compuerta de cierre pueda abrirse fácilmente y para que la mezcla pueda fluir desde el embudo sin apelmazarse (distancia aproximada 300 mm.)

Los ensayos se efectúan con diferentes adiciones de agua. Los resultados se expresan gráficamente representando los tiempos de flujo frente a las cantidades de agua empleada. A partir de esta representación gráfica se determina la cantidad de agua (múltiplo de 0,5 g H₂O/100 g de material seco) necesaria para obtener un tiempo de flujo lo más próximo a 15 segundos.

- **Realización del ensayo de consistencia**

Para el primer ensayo se hace un ciego, añadiendo el agua hasta obtener un aspecto satisfactorio en el menor tiempo, que facilite una correcta compactación por vibrado del hormigón.

Para los sucesivos ensayos, se deben emplear adiciones de agua con variaciones de $\pm 0,5$ g de H₂O por cada 100 g de material seco para hormigones densos y de $\pm 1,0$ g para hormigones aislantes.

Siendo el procedimiento a seguir en la ejecución del ensayo el siguiente:

1. Se prepara tras varios cuarteos sucesivos y la mezcla cuidadosamente homogeneizada antes de su uso. La cantidad de mezcla de ensayo debe ser suficientemente grande para permitir realizar al menos tres mediciones.
2. Se cierra la compuerta del extremo inferior del embudo de flujo.
3. Se introduce la mezcla en el embudo hasta el borde superior.
4. Se pone en marcha la mesa vibratoria durante el tiempo de 10 ± 1 segundos con una doble amplitud de 0,75 mm.
5. En caso necesario, se añadirá más mezcla durante el vibrado. Al final de este, el embudo debe de estar lleno hasta el borde superior.
6. Se pone nuevamente en marcha la mesa vibratoria y una vez en funcionamiento se abre de un golpe la compuerta de cierre y se mide el tiempo necesario para que fluya toda la mezcla, con una precisión de 0,5 segundos. Durante este tiempo se mantiene la doble amplitud de la vibración en 0,75 mm.

7. Se mide el tiempo de flujo 3 veces, no debiendo utilizarse una mezcla ya vibrada.
8. La preparación del mezclado de ensayo y la ejecución de las 3 mediciones deben realizarse en un tiempo máximo de 10 minutos.

- **Evaluación del ensayo de consistencia**

Los resultados del ensayo de consistencia se evalúan a partir de la relación tiempo de flujo frente a la adición de H₂O, determinando la cantidad de agua a añadir para obtener un tiempo de flujo de 15 segundos.

4.3.2.3.2.2 Método “B” o de consistencia de la bola (alternativo)

La cantidad de agua adecuada puede determinarse manualmente, midiendo la consistencia de la mezcla, sobre el hormigón amasado.

La consistencia se determinará mediante el ensayo de la “bola”: formar una bola con la mano, lanzarla al aire unos 15-30 cm. y recogerla, el material estará listo para utilizar, cuando la bola no se deshace ni se rompe al recogerla, quedando la huella de los dedos en la misma.

4.3.2.3.3 Conformado de piezas prismáticas (ladrillos)

En una primera etapa, se llenarán los compartimentos del molde hasta la mitad con la mezcla. Se reparte el material uniformemente y se vibra durante 30 segundos con la doble amplitud de $0,75 \pm 0,05$ mm A continuación, por medio de una rasqueta, se hace rugosa la superficie de la mezcla, se llena hasta sobrepasar el borde (con el suplemento de 5 a 10 mm) y se vuelve a vibrar durante 30 segundos. Se quita el suplemento, se enrasa el material con el canto de una regla metálica, efectuando un ligero movimiento de vaivén, y se nivela la superficie sin añadir agua.

4.3.2.3.4 Curado y secado de los ladrillos

Una vez conformadas los ladrillos, se curan sin desmoldar, en una atmósfera con al menos el 90 % de humedad relativa (recipiente estanco de plástico) y a $\pm 20^{\circ}\text{C}$ de temperatura.

Pasadas 24 horas, se desmoldan y se introducen de nuevo en los recipientes estancos otras 24 horas en las mismas condiciones. Transcurrido este tiempo, se introducen en una estufa para su secado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, asegurándose que estén expuestos en todos sus lados al aire caliente y que el vapor de agua formado pueda escapar sin dificultad.

Una vez transcurrido el secado, se dejan enfriar hasta la temperatura ambiente en que se prevea se va a efectuar la extracción de las probetas.

4.3.2.3.5 Extracción de probetas

Aproximadamente a temperatura ambiente, se extraen las probetas para la realización de los distintos ensayos mediante corte a disco de diamante y/o broca diamantada. Éstas, podrán ser cilindros, cubos, medios ladrillos o ladrillos enteros, de dimensiones y tolerancias especificadas en cada uno de las Instrucciones de ensayo.

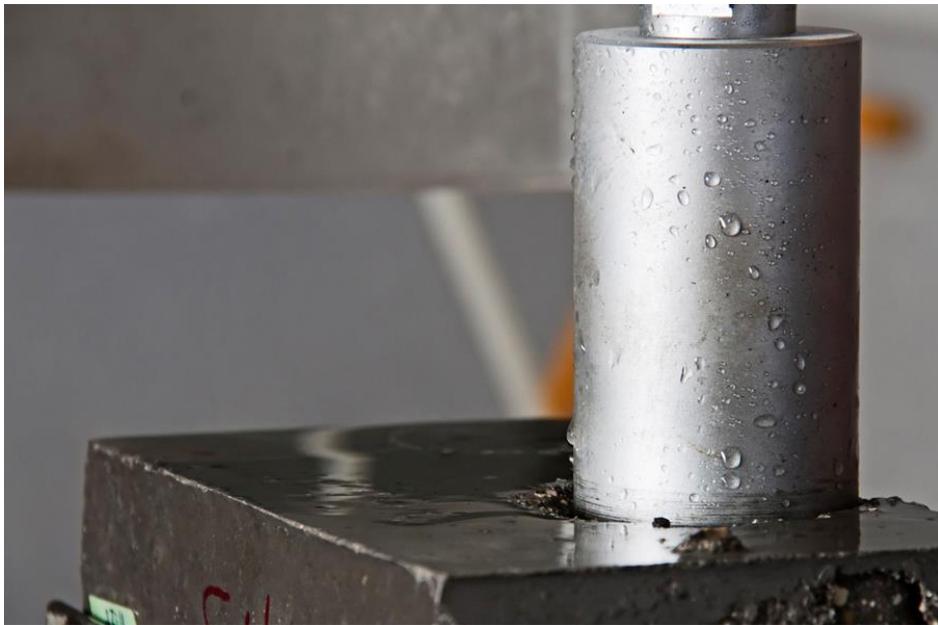


Ilustración 4.8: proceso taladrado probetas

Una vez extraídas, cortadas o rectificadas, se lavan bien, para quitarles las pequeñas adherencias que hubieran podido adquirir durante este proceso, metiéndolas a secar, a continuación, a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante antes de realizar los distintos ensayos especificados en procedimientos individuales.

La extracción de probetas cilíndricas, se hará siempre en la dirección de conformación de las piezas.



Ilustración 4.9: proceso obtención de probetas

4.3.2.4 Masas apisonables y plásticas. Método operativo

Son masas húmedas listas para su empleo mediante compactación, apisonado o incluso gunitado en seco, que no requieren la adición de ningún tipo de líquido adicional.

4.3.2.4.1 Moldeo

Se elaboran las probetas mediante apisonado manual con el “AFA Sand Ramer” o “Pisón Fisher”, provisto de cilindro de 50 mm de diámetro y 140 mm de alto y peso de 6,35 Kg, con altura de caída sobre el pistón de 50 mm.

Dependiendo de la densidad del producto, introducir 200-300 g en el molde en pequeños trozos menores de 25 mm de diámetro. Bajar el pistón hasta reposar sobre el material y a continuación el peso. Presionar con la mano sin golpear el conjunto para pre compactar la carga del cilindro.

Golpear con el dispositivo al efecto del Pisón Fisher 10 veces, sujetando suavemente con la mano el cilindro para evitar rebotes. Invertir la posición del conjunto cilindro-probeta, desplazar con el pistón la probeta hasta el lado del cilindro y aplicar otros 10 golpes por la nueva cara. Extraer la probeta con la ayuda del extractor.

La altura debe ser 50 ± 1 mm, si excediese o no llegase a ella, repetir el procedimiento con la cantidad adecuada de material.

4.3.2.4.2 Secado

Las probetas depositadas sobre una superficie lisa, (bandeja metálica), se mantendrán en estufa a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante o 24 horas.

Algunas masas aglomeradas con ácido fosfórico o determinados fosfatos precisan una temperatura mínima de tratamiento o secado de al menos 200°C para estabilizar irreversiblemente el aglomerante.

Las probetas se guardarán de la humedad en desecador y se ensayarán como máximo antes de tres días después del secado.

En el caso de materiales fácilmente hidratables como Dolomía, las probetas después de moldeadas, se introducen en horno a 1.000°C durante 2 horas mínimo. Se extraen del horno cuando no haya descendido la temperatura por debajo de los 600°C , enfriando al aire durante 2 horas como máximo y guardar en el desecador o recipiente estanco purgado con nitrógeno. Ensayar antes de 48 horas.

4.3.2.5 *Masas gunitables plásticas no hidráulicas.*

Son aquellas masas que independientemente de su naturaleza química y del estado de humedad que presentan y de la presencia o no de aglomerantes químicos, (exceptuando el cemento), están diseñadas para ser aplicadas por proyección con adición de agua.

4.3.2.5.1 Moldeo

Idéntico al punto 4.3.2.4.1

4.3.2.5.2 Determinación de Agua de Amasado

La cantidad de agua será la necesaria para obtener la máxima densidad posible de las probetas después de secada a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, compatible con la no deformación de las mismas bajo su propio peso al extraerlos del molde según punto 4.3.2.3.5.

Normalmente la cantidad de agua es correcta cuando la superficie de la probeta una vez extraída está lisa, sin dejar ver los granos y con aspecto brillante, empezando a rezumar el agua.

4.3.2.5.3 Secado

Idéntico al punto 4.3.2.4.2

4.3.3 Registros

- Listado de % de agua de referencia para amasado.



CONTROL BÁSICO

Producto				
Lote		Tn		Pallets

Pallet	% Líquido de amasado	Fraguado	Observaciones

Producto				
Lote		Tn		Pallets

Pallet	% Líquido de amasado	Fraguado	Observaciones

4.3.4 Responsabilidades

Encargado de laboratorio tiene las siguientes funciones:

- Realizar los ensayos para determinar el % de agua de amasado y mantener actualizada la lista para las distintas fórmulas.
- Comprobar que se efectúa la preparación y confección de probetas para ensayos posteriores según las condiciones fijadas en esta Instrucción.

4.4 CONTROL DE CEMENTOS

4.4.1 Material y equipos

- Bolsas de plástico de 5 litros.
- Balanza de hasta 10 kg e incertidumbre de 1 g.
- Mezcladora orbital y excéntrica.
- Moldes de acero o cubetas de plástico de 1 litro de capacidad.
- Mesa vibradora con vibraciones de 50 Hz y $0,75 \pm 0,05$ mm de amplitud.
- Recipiente isotérmico.
- Cámara con humedad ambiente superior a 90 % y temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Termopar y Registrador de temperatura con sensibilidad de al menos $0,2^{\circ}\text{C}$.
- Termopar y registrador de temperatura con sensibilidad de 1°C .

4.4.2 Desarrollo

4.4.2.1 *Determinación del agua de amasado*

De la muestra de laboratorio, se pesan 1.000 ± 1 g y se introducen en una bolsa de plástico transparente de unos 5L de capacidad. Se agrega una cantidad inicial de agua variable según el tipo de cemento tal como se indica a continuación:

Tipo	Porcentaje (%)
Electroland	22.5
Secar 51	22.5
Secar 71	25
CA-14M	28
CA-270	2.5

Tabla 4-5: cantidad de agua según cemento

Se infla y cierra la bolsa por el extremo, dando ligeros movimientos de vaivén (tipo coctelera) durante unos 10 a 20 segundos. A continuación, se deja vaciar de aire la bolsa, y

se amasa con los dedos por el exterior de la misma, para imprimir una mayor uniformidad en el reparto de agua de amasado. Se infla de nuevo la bolsa y se cierra por su extremo, volviendo a darle ligeros movimientos de vaivén hasta que se consiga formar una bola compacta.

Se tendrá especial cuidado, en que en todo el proceso se efectúe a temperatura ambiente y de los materiales comprendidos entre los 18 y 22°C.

Se toma la bola entre una de las manos, de manera que ésta forme una cuna con los dedos ligeramente abiertos y separados, ejecutando entonces, un movimiento vibratorio a la mano durante uno 10 segundos aproximadamente. La consistencia es la adecuada cuando la pasta se adapta e introduce de una forma plástica a la abertura entre los dedos sin llegar a escurrirse o gotear.

Si la bola es poco plástica y apenas se produce en ella la huella de los dedos, el cemento requiere más agua de mezcla. Por el contrario si llega a escurrirse a causa de una fluidez excesiva, deberá disminuirse el contenido en agua. En cualquiera de estos casos deberá repetirse el ensayo con modificaciones de la adición de agua en incrementos o disminuciones del 1 % hasta lograr la consistencia adecuada.

Se expresará la absorción de agua en % sobre cemento seco.

4.4.2.2 *Curva exotérmica de fraguado*

Preparar un hormigón tipo que corresponde con la fórmula 29, para hormigones convencionales o para los tixotrópicos. Introducir la mezcla seca en una bolsa de plástico y mantenerlo en la cámara climática a 18-22°C durante 24 horas con objeto de homogeneizar su temperatura. A continuación se introduce la cantidad necesaria (aproximadamente 5 Kg) de material seco en la cuba de la mezcladora, formando un hueco en forma de embudo.

Se vierten tres cuartas partes aproximadamente del agua necesaria de hormigonado y se pone en marcha la amasadora durante 1 minuto, a la velocidad lenta y se para, si hubiera material adherido a la paleta, o en el fondo, se separa, se añade el resto de líquido y se continúa amasando durante otros 2 a 3 minutos a velocidad rápida. La duración del amasado estará limitada a la obtención de una muestra homogénea en el menor tiempo posible y en todo caso será menor de 8 minutos.

Esta mezcla, recién amasada, debe estar entre 18 y 20°C, indicándose las posibles desviaciones en el informe de ensayo.

En una primera etapa, se llenarán los compartimentos del molde hasta la mitad con la mezcla. Se reparte el material uniformemente y se vibra durante 30 segundos con la doble amplitud de $0,75 \pm 0,05$ mm A continuación, por medio de una rasqueta, se hace rugosa la superficie de la mezcla, se llena hasta sobrepasar el borde (con el suplemento de 5 a 10

mm), se introduce una sonda o termopar en la masa de hormigón procurando que se sitúe su extremo en la zona media de la masa y se vuelve a vibrar durante 30 segundos.

Se quita el suplemento, se enrasa el material con el canto de una regla metálica, efectuando un ligero movimiento de vaivén, y se nivela la superficie sin añadir agua.

Se introduce el molde en un recipiente isotérmico y el conjunto en la cámara climática conectando el registrador de temperatura.

Se toma como “tiempo cero” el de inicio de la mezcla con agua. Sobre la curva tiempo/Temperatura los puntos significativos son los siguientes:

1. Inicio de fraguado: Tiempo transcurrido hasta que el hormigón incrementa su temperatura 1°C.
2. Fin fraguado: Tiempo en el que se alcanza la máxima temperatura.

En el caso de algunos hormigones tixotrópicos la curva presenta dos puntos de inflexión en contraposición con los hormigones convencionales, siendo su significado el siguiente:

1. Inicio de gelificación: Tiempo en alcanzar el máximo el primer punto de inflexión.
2. Inicio de fraguado: Tiempo de inicio del segundo punto de inflexión.
3. Fin de fraguado: Tiempo en el que se alcanza la máxima temperatura.

El tiempo “fin del fraguado” indica cuando el hormigón ha alcanzado resistencia mecánica suficiente para poder ser desencofrado sin riesgo.

El “inicio de la gelificación” señala el tiempo máximo disponible de puesta en obra del hormigón.

En el estudio detallado de los cementos se utilizará un registrador con sensibilidad de al menos 0,2°C, mientras que en los ensayos rutinarios de recepción de cementos homologados puede utilizarse el registrador con sensibilidad de 1°C.

Ver tipos de curvas de fraguado en 4.4.3.

4.4.2.3 Resistencia mecánica

En cualquier caso la preparación y tratamiento del hormigón y probetas se hará de acuerdo con 4.3.

4.4.3 Registros

- Gráficos de fraguado.

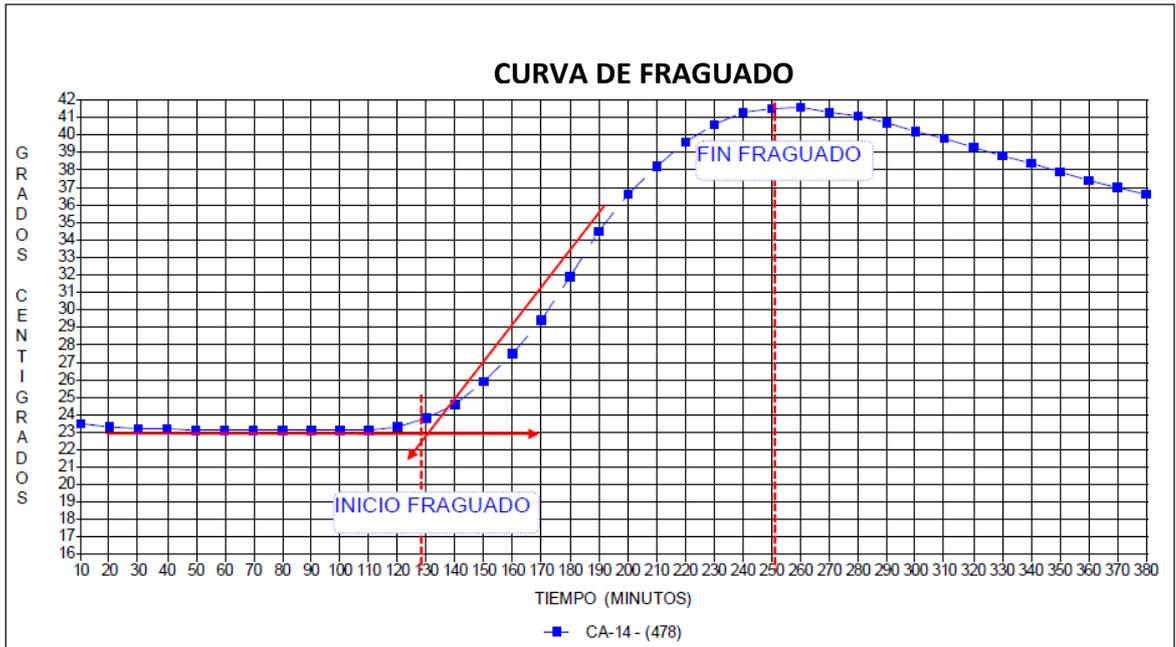


Ilustración 4.10: curva fraguado hormigón convencional

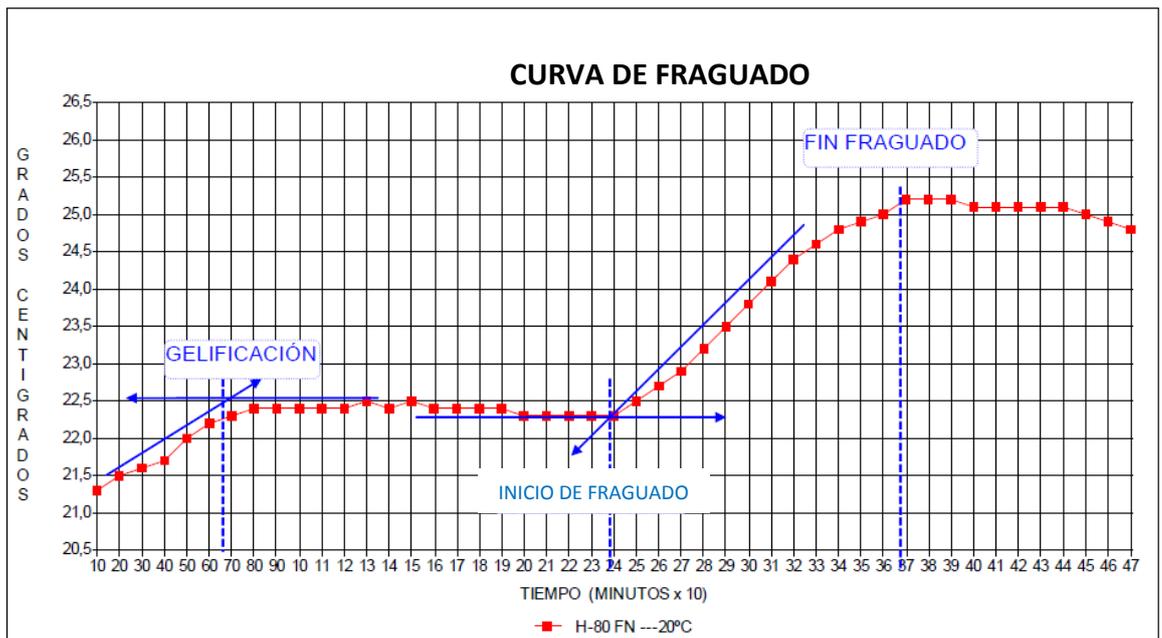


Ilustración 4.11: curva de fraguado hormigón tixotrópico

4.4.4 Responsabilidades

Encargado de laboratorio tendrá las siguientes funciones:

- Asegurarse de la correcta identificación, toma de muestras y realización de ensayos.
- Registro y archivo de los resultados obtenidos.

4.5 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE, POROSIDAD ABIERTA Y TOTAL CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROBETA

Para éste método de ensayo se seguirá lo especificado en la norma UNE-EN 993-1 de determinación de la densidad aparente, de la porosidad abierta y de la porosidad total.

4.5.1 Desarrollo

Disponemos de dos métodos para realizar dichas determinaciones:

1. Método de inmersión de la probeta para materiales densos.
2. Método de cubicación de la probeta para materiales aislantes (no habiendo objeción técnica para aplicar este método para los densos).

4.5.1.1 *Método de inmersión*

Este método consiste en determinar por pesadas los siguientes valores:

- Masa de la probeta seca.
- Masa aparente en la inmersión de un líquido en el que se impregna bajo vacío.
- Masa de la probeta al aire libre cuando aún está saturada de líquido.

4.5.1.1.1 Material y equipos

- Estufa: que pueda regularse a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ con salida de vapores.
- Balanza: que permita medidas con incertidumbre menor de $\pm 0,5$ g.
- Balanza hidrostática: que permita medidas con incertidumbre menor de $\pm 0,05$ g.
- Equipo de vacío: que permita reducir la presión a un valor igual o inferior a 25 milibares, dotado de un manómetro o columna de mercurio y que conste de:
 - Recipiente para el vacío.
 - Torre de desecación.
 - Vacuómetro de Hg.

- Bomba de vacío.
- Taladro de columna: con broca diamantada.
- Sierra circular: con disco diamantado.
- Rectificadora.
- Dsecador.
- Reloj comparador.
- Calibre.



Ilustración 4.12: horno de alta temperatura



Ilustración 4.13: reloj comparador

4.5.1.1.2 Preparación de muestras

De la muestra global, tomamos muestra de laboratorio según 4, de ella preparamos el ladrillo para extracción de probetas según 4.3.

Las probetas se sacan en la dirección de conformación en forma de cilindro, no siendo ninguna de sus caras la original de conformación, con sus caras paralelas. Se comprobará la planitud de las probetas mediante el uso de un reloj comparador y las dimensiones de éstas mediante calibre.



Ilustración 4.14: comprobación altura de probetas

Sus medidas serán de $50 \pm 0,5$ mm de altura y $50 \pm 0,5$ mm de diámetro, no pudiendo presentar grietas ni fisuras para no obtener resultados erróneos y siendo su número de 2 a 5 probetas para cada una de las temperaturas que vayamos a ensayar.



Ilustración 4.15: comprobación diámetro probetas

4.5.1.1.3 Método operativo

4.5.1.1.3.1 Determinación de la masa de la probeta seca

Se seca la probeta en una estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante, dejándola enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador.

Se pesa con una incertidumbre de 0,05 g obteniendo así la masa de la probeta en seco (Ps).

4.5.1.1.3.2 Inmersión de la probeta

Se coloca esta probeta en el recipiente de vacío, se cierra éste y se hace el vacío hasta que alcance una presión de 25 milibares o menos, manteniéndola durante 1 hora.

Se introduce a continuación, progresiva y lentamente, al líquido de inmersión (H₂O si no reacciona con el material a ensayar y parafina o tolueno en caso contrario), basta cubrir 20 cm por encima de las probetas, manteniendo esta presión durante una hora, al cabo de la cual, desconectamos la bomba e igualamos las presiones interior-exterior, muy lentamente, y abrimos el recipiente.

4.5.1.1.3.3 Determinación de la masa de la probeta saturada

Se saca la probeta del líquido y se enjuaga con una esponja húmeda con el fin de eliminar las gotas y la película superficial pero sin absorber el líquido de los poros; se pesa con una incertidumbre de $\pm 0,05$ g para obtener así la masa de la probeta saturada (Ph).

4.5.1.1.3.4 Determinación de la masa aparente de la probeta sumergida

Se suspende la probeta en el dispositivo de la balanza hidrostática y se pesa totalmente sumergida en el líquido de inmersión con una incertidumbre de 0,05 g obteniendo así, la masa de la probeta sumergida (PH₂O).

4.5.1.1.4 Cálculos

4.5.1.1.4.1 Magnitudes

Da = Densidad Aparente (g/cm³) con tres cifras significativas.

Dr=Densidad real.

Ps = Masa de la probeta en seco (g)

Ph = Masa de la probeta saturada (g)

PH₂O = Masa de la probeta sumergida (g)

D1 = Densidad del líquido de inmersión (g/cm³)

Pa = Porosidad abierta (%)

Pt = Porosidad total (%)

Abs = Capacidad de absorción (%)

La porosidad abierta y total, así como la absorción, vendrán expresadas en % y se redondearán las décimas.

4.5.1.1.4.2 Densidad aparente

$$Da = \frac{Ps}{Ph - PH_2O}$$

Ecuación 4.2: densidad aparente

4.5.1.1.4.3 Capacidad de absorción

$$Abs = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Ecuación 4.3: capacidad de absorción

4.5.1.1.4.4 Porosidad abierta

$$Pa = Da \times Abs$$

Ecuación 4.4: porosidad abierta

4.5.1.1.4.5 Porosidad total

$$Pt = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100$$

Ecuación 4.5: porosidad total

4.5.1.1.4.6 Porosidad cerrada

$$Pc = Pt - Pa$$

Ecuación 4.6: porosidad cerrada

4.5.1.2 Método de cubicación de la probeta

4.5.1.2.1 Fundamento

La masa de la probeta seca se determina por pesada y por medición directa del volumen. A partir de estos valores y de la Densidad real, se calculan, la densidad aparente, porosidad total y volumen.

4.5.1.2.2 Material y equipos

- Sierra circular.
- Rectificadora.
- Estufa, que se pueda regular a $100 \pm 5^\circ\text{C}$ y con salida de vapores.

- Desecador.
- Balanza que permita medidas con incertidumbre menor de 0,05 g.
- Calibre o pie de rey con incertidumbre de 0,01 mm.
- Reloj comparador

4.5.1.2.3 Preparación de muestras

De la muestra global, tomamos muestra de laboratorio según 4, de ella preparamos el ladrillo para extracción de probetas según 4.3.

Se comprobara la planitud de las probetas mediante un reloj comparador y se anotará el resultado, por otro lado se verifican las dimensiones de las probetas.

Sus medidas serán de 230 x 114 x 64 ± 1 mm, o 114 x 100 x 64 ± 1 mm, pudiendo tomar el ladrillo completo en el caso de ser un producto conformado que tenga sus caras paralelas o que no podamos obtener la probeta anteriormente citada. Su número será de 3 a 5 probetas para cada temperatura a ensayar.

4.5.1.2.4 Procedimiento operativo

Se seca la probeta en una estufa a 100°C $\pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante, dejando enfriar en desecador hasta temperatura ambiente, pesándolo con incertidumbre de 0,05 g y obteniendo la masa de la probeta seca (M).

Se miden las dimensiones de la probeta con un calibre y una incertidumbre de 0,5 mm, efectuando las modificaciones en el centro de cada cara (Longitud = L; Ancho= B y Alto = H).

4.5.1.2.5 Cálculos

4.5.1.2.5.1 Magnitudes

Los cálculos de las magnitudes finales vendrán dados con 3 cifras significativas.

Da = Densidad Aparente (g/cm³).

M=Masa de la probeta seca (g).

V = Volumen aparente de la probeta seca (cm³).

Pt = Porosidad total (%).

Dr = Densidad real (g/cm³).

4.5.1.2.5.2 Densidad aparente

$$Da = \frac{M}{V}$$

Ecuación 4.7: densidad aparente

4.5.1.2.5.3 Porosidad total

$$Pt = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100$$

Ecuación 4.8: porosidad total

4.5.2 Registros

- Hoja de ruta para control de laboratorio de materias primas y productos terminados.



PRODUCTO N° LOTE:

HORMIGONES	Pallet		Verde			AGUA (%)	FRAGUADO (hh:mm)
	DENSIDAD			Rcf			
	Tª	M seca (g)	M húmeda (g)	M agua (g)	Rcf (kg/cm ²)	Planitud	(h) ±0.5 mm
110°C	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1000°C	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Pallet		Verde			AGUA (%)	FRAGUADO (hh:mm)
DENSIDAD			Rcf			
Tª	M seca (g)	M húmeda (g)	M agua (g)	Rcf (kg/cm ²)	Planitud	(h) ±0.5 mm
110°C	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1000°C	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4.6 TEST DE FRAGUADO

4.6.1 Material y equipos

- Balanza de hasta 10 Kg e incertidumbre de 1 g.
- Mezcladora orbital y excéntrica.
- Mesa vibradora con vibraciones de 50Hz y $0,75 \pm 0,05$ mm de amplitud.
- Moldes de acero o cubetas de plástico de 1 litro.

4.6.2 Desarrollo

El tiempo de fraguado se determina por la elevación de temperatura que sufre el hormigón a causa de la hidratación del cemento que contiene, iniciándose una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla.

4.6.2.1 *Preparación del hormigón y toma de datos*

Se toma una cantidad de material suficiente para que tras amasado, permita el llenado de los moldes al menos en sus tres cuartas partes. Se procede al mezclado sometiénolo a vibración durante 30 segundos y con doble amplitud de $0,75 \pm 0,05$ mm.

Una vez vibrado, se introduce en el molde y todo ello en una dependencia cuya temperatura ambiente esté entre 18-22°C.

Se tomará como tiempo de inicio de fraguado, el momento en que el hormigón empieza a alcanzar rigidez, puesta de manifiesto por la imposibilidad de producir huella con el dedo pulgar al presionar su superficie y éste apenas queda manchado.

4.6.2.2 *Expresión de los resultados*

Se toma como “tiempo de inicio del fraguado” los minutos transcurridos, desde el vibrado del material, hasta el inicio del fraguado.

4.6.3 Responsabilidades

El encargado de laboratorio tendrá las siguientes funciones:

- Asegurarse de la correcta realización de la identificación, toma de muestras y realización de ensayos.
- Registro y archivo de los resultados obtenidos.

4.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FRÍO EN DENSOS

Se consideran refractarios densos aquellos materiales cuya refractariedad sea igual o superior a los 1500°C y el valor de la porosidad total sea inferior al 39 % en volumen (no existe un límite).

En ellos se busca eliminar la porosidad para evitar el ataque de los fundidos, pueden ser conformados (alta presión) o no conformados, se aplican en cara de trabajo, en contacto con el medio. Son materiales que resisten corrosión, abrasión y esfuerzos mecánicos importantes.

4.7.1 Material y equipos

- Máquina de compresión de aplicación de carga continua y progresiva.
- Módulo electrónico de lectura con captador de presión y una incertidumbre menor del 2 %.
- Calibre o pie de rey con incertidumbre < de 0,1 mm.
- Estufa que nos permita alcanzar temperaturas de 110°C ± 5°C.
- Horno que permita temperaturas de 1000°C.
- Taladro de columna.
- Sierra circular.
- Rectificadora.
- Reloj comparador.



Ilustración 4.16: prensa automática

4.7.2 Desarrollo

4.7.2.1 *Fundamento*

Resistencia a la compresión es la carga límite por unidad de superficie, que a una temperatura dada, puede resistir un producto refractario sin destruirse.

Producto conformado denso, es aquel producto refractario con una porosidad total es inferior al 45 %.

Producto conformado aislante, es aquel producto refractario cuya porosidad total es superior al 45 %.

El método consiste en someter a temperatura ambiente una probeta de dimensiones específicas, a una carga creciente, con una velocidad específica, hasta que se produzca la rotura en una máquina de ensayo a la compresión y se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada por el área de la sección de la probeta.



Ilustración 4.17: datos entrada prensa



Ilustración 4.18: ejemplo resultados en prensa

4.7.2.2 Preparación de muestras

Se prepararán las probetas para ensayo según 4.3.

El número de probetas será de 3 a 5 para cada temperatura a ensayar.

Su forma será cilíndrica, de $50 \pm 0,5$ mm de diámetro y $50 \pm 0,5$ mm de altura, alineando aquellas que presenten grietas u otros defectos apreciables.

En el caso de que no se puedan obtener estas probetas, se permitirán de 36 mm de diámetro y $\pm 0,3$ mm de altura.

Sus caras serán planas y paralelas, se comprobará la planitud de las probetas mediante el uso de un reloj comparador y las dimensiones de éstas mediante calibre.

4.7.2.3 *Método operativo*

Se meten las probetas en estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, dejándolas enfriar en desecador hasta temperatura ambiente, excepto cuando han sido tratadas a temperatura superior (caso de probetas ensayadas a 1000°C), que se dejarán enfriar convenientemente antes de meterlas al desecador.

Se miden altura y diámetro con una incertidumbre de 0,1 mm utilizando un calibre.

Se coloca la probeta en el centro de la placa inferior de la máquina y se aproxima el plato superior a la probeta. Se selecciona la forma de carga en el módulo electrónico (manual/automático) y se aplica la carga a razón de $1 \pm 0,1$ MPa/s. hasta que la probeta se rompa, anotando esta carga máxima registrada durante el ensayo.

4.7.3 Cálculos

$$Rmf = \frac{C}{S}$$

Ecuación 4.9: cálculo de resistencia en frío.

- Rmf = Resistencia a la compresión en frío (Kg/cm^2)
- C = Carga máxima de rotura (Kg)
- S = Superficie de la probeta (cm^2)

4.7.4 Registros

- Hoja de ruta para control de laboratorio de materias primas y productos terminados.



PRODUCTO N° LOTE:

HORMIGONES	Pallet		Verde			AGUA (%)	FRAGUADO (hh:mm)
						<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Tª	DENSIDAD			Rcf		
	M seca (g)	M húmeda (g)	M agua (g)		Rcf (kg/cm ²)	Planitud	(h) ±0.5 mm
110°C	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1000°C	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pallet		Verde			AGUA (%)	FRAGUADO (hh:mm)	
					<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Tª	DENSIDAD			Rcf			
	M seca (g)	M húmeda (g)	M agua (g)		Rcf (kg/cm ²)	Planitud	(h) ±0.5 mm
110°C	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1000°C	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FRÍO DE AISLANTES

Se consideran refractarios aislantes aquellos materiales cuya refractariedad sea igual o superior a los 1500°C y su porosidad total es igual o superior al 45 % en volumen (no existe un límite). Normalmente se buscan porosidades altas para lograr aislamiento térmico. Pueden presentarse como conformados (extrusión) o no conformados. Suelen aplicarse como barreras de calor detrás de los revestimientos de trabajo. Son materiales que no resisten corrosión, abrasión y otros esfuerzos mecánicos.

4.8.1 Material y equipos

- Máquina de compresión que nos permita la aplicación de una carga continua y progresiva.
- Módulo electrónico de lectura con adaptador de precisión y una incertidumbre no menor del 2%.
- Calibre o pie de rey con incertidumbre menor de 0,1 mm.
- Estufa que nos permita temperaturas de 110°C \pm 5°C con salida de vapores.
- Taladro de columna.
- Sierra circular.
- Horno que permita temperaturas de 1000°C.
- Rectificadora.

4.8.2 Desarrollo

4.8.2.1 Fundamento

Resistencia a la compresión es la carga límite por unidad de superficie, que a una temperatura dada, puede resistir un producto refractario sin destruirse.

Producto conformado aislante, es aquel producto refractario cuya porosidad total no es inferior al 45%.

El método consiste en someter a temperatura ambiente una probeta de dimensiones específicas, a una carga creciente, con una velocidad específica, hasta que se produzca la rotura en una máquina de ensayo a la compresión y se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada por el área de la sección de la probeta.

4.8.2.2 *Preparación de muestras*

De la muestra global, se prepararán las probetas para ensayo según 4.3.

El número de probetas será de 3 o 5 para cada temperatura a ensayar, su forma será rectangular y de dimensiones 114 x 114 x 64 o de 114 x 114 x 76 $\pm 0,5$ mm en las cotas de 114 y $\pm 0,5$ mm en las cotas de 64 o 76.

4.8.2.3 *Método operativo*

Se miden largo y ancho de cada una de las caras de aplicación de la carga de la probeta, así como la altura en el centro de cada uno de sus cuatro lados, con una incertidumbre de 0,5 mm.

Metemos a secar la probeta en una estufa a 110 $\pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante, dejándola enfriar posteriormente a temperatura ambiente en un desecador hasta la realización del ensayo, excepto cuando han sido tratadas a temperaturas superiores, que se dejarán enfriar convenientemente antes de meterlas al desecador.

Se coloca la probeta sobre una de las caras más anchas en el centro del plato inferior de la prensa.

Se incrementa la carga de forma gradual y constante, a una velocidad tal que:

1. Si la resistencia a la compresión es inferior a 10 N/mm² (Aprox. 100 Kg/cm²) la velocidad de aplicación de la carga sobre la probeta será de 0,05 ± 10 % N/mm²s.
2. Si la resistencia a la compresión se espera que sea igual o superior a 10 N/mm², la velocidad será de 0,2 ± 10 % N/mm²s.

Se mantiene esta carga a la velocidad indicada hasta que la probeta rompa o su altura se reduzca al 90 % de la altura inicial, anotando esta carga máxima.

4.8.3 Cálculos

$$Rmf = \frac{C}{S}$$

Ecuación 4.10: cálculo de resistencia en frío.

- Rmf = Resistencia a la compresión en frío (Kg/cm²)
- C = Carga máxima de rotura (Kg)
- S = Superficie de la probeta (cm²)

4.8.4 Registros

- Hoja de ruta para control de laboratorio de materias primas y productos terminados.



PRODUCTO N° LOTE:

HORMIGONES	Pallet		Verde			AGUA (%)	FRAGUADO (hh:mm)	
	Tª		DENSIDAD			Rcf		
			M seca (g)	M húmeda (g)	M agua (g)	Rcf (kg/cm ²)	Planitud	(h) ±0.5 mm
	110°C	1						
		2						
	1000°C	1						
		2						
Pallet		Verde			AGUA (%)	FRAGUADO (hh:mm)		
	Tª		DENSIDAD			Rcf		
			M seca (g)	M húmeda (g)	M agua (g)	Rcf (kg/cm ²)	Planitud	(h) ±0.5 mm
	110°C	1						
		2						
	1000°C	1						
		2						

5 BIBLIOGRAFÍA

- UNE-7_135: Determinación de finos en áridos utilizados para la fabricación de hormigones.
- UNE-7_139: Análisis granulométrico de áridos.
- UNE-7_203: Determinación del principio y fin del fraguado de los conglomerantes hidráulicos.
- UNE-61_007_75: Productos refractarios aislantes con forma,
- UNE-61_008_75: Ensayos de materiales refractarios.
- UNE-83_256_87: Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Agua de amasado y curado.
- UNE-83_275_89: Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Etiquetado.
- UNE-83_300_84: Toma de muestras de hormigón fresco.
- UNE-EN 993-1: Determinación de la densidad aparente, de la porosidad abierta y de la porosidad total.
- UNE-EN 993-2/A1: Determinación de la densidad absoluta.
- UNE-EN 993-5: Determinación de la resistencia a la compresión en frío.
- UNE-EN 1402-6: Medición de las propiedades físicas.
- UNE-EN ISO 8895: Determinación de la resistencia a la compresión en frío.