

Continue



















## Fabricacion del cemento

Proceso de producción del cemento. Imagen de cimaComo en todo proceso de fabricación, es necesario tener en cuenta algunos conceptos fundamentales, los cuales veremos a continuación: El Clinker es el material base para la fabricación del cemento, su concepto es el siguiente: Es una mezcla de minerales, los cuales son sometidos a un tratamiento térmico a altas temperaturas para modificar las propiedades de la mezcla, con la finalidad de hacerla ideal para la fabricación del cemento. Los principales minerales utilizados para la mezcla de fabricación de Clinker son: Piedra caliza: Roca sedimentaria de una composición de cerca del 60% de carbonato de calcio. Al ser calentadas a altas temperaturas se obtiene óxido de calcio e impurezas. Para la fabricación de Clinker se utilizan calizas que no tengan grandes cantidades de magnesio, ya que reduce la resistencia del hormigón. Pizarra: Rocas constituidas principalmente por óxido de silicio y óxido de aluminio, ofreciendo alcalinidad a la mezcla. Por lo general, representan el 15% de la mezcla de Clinker. Arcilla: Compuesta principalmente por silicatos de aluminio y en menor medida por hierro y aluminio, lo que permite adicionar dureza a la mezcla de materias primas. La mezcla de estos componentes es sometida a temperaturas muy elevadas (por encima de los 1350 OC), dando como resultado el Clinker, cuyos componentes principales son: Silicato tricálcico (60%), Silicato bicálcico (entre 20 y 30%). Aluminato tricálcico (entre 7 y 14%). Ferroaluminato tetra cálcico ( entre 5 y 12%). Esta composición no se encuentra aislada, más bien se encuentra en fases, acompañadas de algunas impurezas. Estas impurezas son de gran importancia para la definición de algunas propiedades importantes del cemento y del hormigón. Las dos bases principales son las siguientes: Alita (silicato tricálcico): Es la base principal de la mayoría de los cementos Portland. De esta base, dependen las propiedades mecánicas de este tipo de cemento y tiene influencia en el tiempo de fraguado y la resistencia inicial. Belita (silicato bicálcico): Su hidratación tiende a ser mucho más lenta, de modo que es de gran influencia en la resistencia del material. Fabrica de cemento Portland. Imagen de iprojectgmhEl cemento es un material de construcción muy popular alrededor del mundo. Es un compuesto en polvo que requiere ser mezclado con agua u otras sustancias para formar una pasta blanquecina-grisácea que se endurece al secarse. Gracias a esta propiedad, es ideal para rellenar huecos en construcciones, como aglutinante en bloques de hormigón y como argamasa. Una definición mucho más completa del cemento es la siguiente: El cemento es un material que presenta propiedades de adherencia y cohesión, el cual se origina mediante la mezcla de diferentes minerales y tiene como principal característica una dureza destacable, lo que lo hace ideal para construcciones. Esta dureza viene dada por la reacciones de hidratos, y la conserva incluso sumergido en agua. Cuando el cemento es mezclado con grava y material árido se crea el hormigón. Tradicionalmente, el cemento puede clasificarse en dos tipos principales: Cemento de origen arcilloso: Como su nombre lo indica, proviene de la mezcla de arcilla y piedra caliza. La relación entre estas es de aproximadamente 1:4. Cemento puzolánico: Proviene de la puzolana, un material silíceo de origen volcánico u orgánico, siendo este material la base de los primeros cementos utilizados por el hombre. Actualmente existen varios tipos de cemento, entre los cuales podemos destacar los siguientes: Este tipo de cemento es el más utilizado alrededor del mundo para la fabricación de hormigón. Su principal característica es que cuenta con una dureza y una resistencia muy superiores a la del cemento tradicional, lo que lo hace ideal para construcciones de gran envergadura que resistan el paso del tiempo. El cemento Portland es producido mediante la pulverización del Clinker Portland y la adición de uno o más tipos de yeso y otros aditivos. Este tipo de cemento al ser mezclado con el agua obtiene características plásticas con capacidades adherentes, además solidifica en pocas horas y se endurece cada vez más a medida que pasa el tiempo. Este proceso de solidificación se debe a la hidratación mineral. Cabe destacar, que si se adicionan materiales calcáreos a esta mezcla se obtiene el famoso cemento plástico, el cual fragua mucho más rápido, lo que lo hace ideal para revestimientos exteriores de edificaciones. Se obtienen de igual forma que los cementos Portland tradicionales, sin embargo, poseen características diferentes debido al cambio de porcentajes de los componentes de la mezcla. Entre los más importantes tenemos: Portland férrico: Como su nombre lo indica, es muy rico en hierro. Se obtiene introduciendo cenizas de pirlita o minerales de hierro en polvo a la mezcla. Son cementos muy resistentes a aguas agresivas. Cemento blanco: Son cementos con bajo contenido de hierro, otorgando una coloración grisácea-blanquecina. Cemento puzolánico: Es una mezcla de puzolana, Clinker Portland y yeso. Es ideal para ser utilizado en climas calurosos. Cuentan con una alta impermeabilidad y son muy duraderos. Cemento siderúrgico: Similar al anterior, sólo que no se utiliza puzolana, en su lugar se utilizan cenizas de carbón. Son muy alcalinos, lo que los hace ideales para reducir la corrosión, y cuentan con alta resistencia química. Sin embargo, no son resistentes a aguas agresivas. Como material de construcción el cemento cuenta con una serie de propiedades, entre las cuales tenemos: Resistente a ataques químicos. Es refractario (resiste altas temperaturas). Elevada resistencia inicial, que por lo general, disminuye con el tiempo. Exotérmico, lo que lo hace ideal para su uso en lugares con bajas temperaturas. Entre los principales usos del cemento, tenemos los siguientes: Para la construcción de carreteras. Como base para la fabricación del hormigón. Como argamasa. Para realizar revestimientos interiores y exteriores de edificaciones. Para crear zonas de vertidos industriales. Como protección para medios marinos. Como mortero en construcciones refractarias. Para la construcción de zonas de alcantarillado y tanques de almacenamiento. Como todo procedimiento industrial, la fabricación del cemento sigue una serie de pasos que permiten la creación del producto final. Estos pasos pueden variar según el tipo de cemento a realizar y la fórmula utilizada, sin embargo, el proceso general es más o menos el mismo y es el que vamos a describir a continuación: Este es el primer paso del proceso de fabricación y viene dado por la explotación de las materias primas (minerales) directamente de las canteras. Por lo general, se trata de arcillas, piedras calizas y pizarras, así como, otros minerales para la fabricación del Clinker. Estos minerales son extraídos mediante máquinas excavadoras, siendo retirados directamente de las canteras y clasificados según el tipo de mineral que se está extrayendo, luego son colocados en camiones y vehículos de carga para ser enviados al proceso de trituración directamente en planta. Una vez que llegan las materias primas al área de trituración (que por lo general, cuenta con dos fases, lo cual puede variar según la metodología de fabricación), como primer paso, se colocan en una trituradora primaria mediante tolvas de gran tamaño, reduciendo considerablemente el tamaño de los minerales. Al salir de la trituradora primaria, los minerales son almacenados. Luego, se realiza una verificación de la composición química de los minerales almacenados mediante análisis específicos de muestras aleatorias. El segundo paso de la trituración consiste en pasar los minerales previamente reducidos de tamaño por una segunda fase de trituración, introduciéndolos mediante tolvas a un proceso secundario de trituración para minimizar aún más el tamaño de las partículas, hasta obtener la granulometría necesaria para ser transportados mediante bandas transportadoras al siguiente paso. Una vez obtenidos y seleccionados los polvos crudos para la mezcla, son transportados hacia la siguiente zona del proceso en donde se realizará una pre-homogeneización que permite dosificar adecuadamente los componentes, reduciendo su variabilidad. Para ello, se van almacenando los diferentes componentes provenientes de las bandas transportadoras en capas uniformes, para posteriormente ser seleccionados de forma controlada y enviados a la molienda. El mineral triturado y pre-homogeneizado llega al área de molienda, y una vez allí, es alimentado a molinos que pueden ser de bolas o de rodillos. De esta manera, se obtienen polvos de gran finura, ideales para la mezcla del Clinker. Al salir de la molienda, los polvos son almacenados en silos para aumentar la uniformidad (homogeneización) de la mezcla. Con el polvo homogeneizado proveniente de los silos de almacenamiento previos, se alimentan pre-calentadores ciclones (por lo general, 4 o 5 ciclones en cascada), donde la materia prima (polvos) es calentada continuamente, con la finalidad de prepararla para el proceso de cocción (preparación del Clinker). Para lograr este objetivo se introduce la materia prima homogeneizada en la parte superior del ciclón (pre-calentador), mientras en contracorriente se hacen pasar gases calientes provenientes del horno, de modo, que la materia prima cruda se pre-caliente a temperaturas cercanas a los 1000 OC, antes de salir de la torre por la parte inferior, para luego ser introducida al horno, mientras los gases salen por la parte superior del pre-calentador. La salida del pre-calentador o pre-calentadores, alimenta directamente un horno que cuenta con una banda transportadora por donde la materia prima pre-calentada pasa y se va cocinando cambiando sus propiedades, hasta obtener el Clinker. Dentro del horno las temperatura son superiores a los 1500 OC (inicialmente son 2000 OC). La materia prima al ir pasando por el horno, va experimentado varias reacciones químicas que dan origen al Clinker. Al salir del horno, el Clinker generado es transportado e introducido en un intercambiador de calor, con el objetivo de reducir su temperatura a unos 1000 OC. Este proceso de enfriamiento se lleva a cabo en un intercambiador de calor (o intercambiadores de calor) donde, por lo general, se inyecta aire frío o ambiente para reducir la temperatura del Clinker. El aire caliente que sale del intercambiador es alimentado al horno, para de esta manera favorecer la combustión y optimizar energéticamente el proceso. Una vez retirado el Clinker enfriado de los intercambiadores de calor (o intercambiador de calor, según sea el caso), es transportado mediante bandas al área de molienda de Clinker, donde es introducido mediante tolvas a un molino que suele ser de rodillos, donde el Clinker se muele y se mezcla con yeso y otros aditivos adicionados mediante tovas al molino. Este molino es un tubo alargado que rota sobre su propio eje. Dentro del molino hay bolas de acero, las cuales colisionan entre sí, gracias a la rotación del tubo. De esta manera, el Clinker es triturado perfectamente y mezclado a la vez con los otros polvos e aditivos, logrando una mezcla muy fina y homogénea, que es nuestra mezcla final, el cemento. Finalizado el proceso de fabricación del cemento, el producto es transportado mediante medios neumáticos hacia los silos de almacenamiento, previa separación según su clase, si es que se han preparado diferentes tipos de cemento en la planta. Este viene siendo el paso final de todo el proceso de fabricación del cemento. Consiste en despachar el cemento almacenado en los silos hacia el área de empaquetamiento, donde mediante máquinas de empaquetado, se introduce el cemento en sacos que son sellados y llevados al área de almacén de distribución. Los sacos son apilados sobre parrillas de madera o pisos de tabla, en condiciones libres de humedad y en hileras de no más de 14 sacos de altura para almacenamientos de 30 días, o de no más de 7 sacos de altura para almacenamientos más prolongados. Luego de ser almacenados, los sacos son colocados en camiones y distribuidos a los clientes mayoristas o enviados directamente a las obras. A continuación, describiremos cómo reacciona el cemento con el agua, con lo que tendremos una idea más clara de lo que ocurre durante esta mezcla y porqué el cemento posee ciertas propiedades: Lo primero que ocurre cuando se mezcla el cemento con el agua es una disolución sólido-líquido, donde se observa una reacción exotérmica inicial que tiene una duración de 10 minutos aproximadamente, logrando una mezcla bastante líquida. Seguidamente, se observa que la mezcla va aglutinando (formación de sustancia gelatinosa o aglutinante), debido a la hidratación del cemento, este aglutinamiento dura aproximadamente una hora. Pasada la hora de hidratación, el cemento comienza a endurecer, esto se debe al alto grado de hidratación del cemento, el cual permite a la sustancia aglutinante que se forma crecer de tal manera que crea puntos de contacto entre las partículas que conforman la mezcla. De este modo, se va inmovilizando la masa de cemento, este paso se conoce como fragua y consiste en el aumento de la viscosidad de la mezcla. Con el paso del tiempo, la película aglutinante saturada va desarrollando una especie de filamentos tubulares. Estos filamentos van aumentando en número, entramándose entre sí, lo que va adicionando dureza progresiva a la mezcla, así como, resistencia mecánica al cemento hidratado. Mientras más pasa el tiempo, el cemento va perdiendo humedad y se va endureciendo más, hasta formar un sólido que no puede ser deformado por medios naturales, este punto es el final del fraguado e indica que la reacción con el agua ha finalizado. Proceso de producción del cemento. Imagen de cimaComo en todo proceso de fabricación, es necesario tener en cuenta algunos conceptos fundamentales, los cuales veremos a continuación: El Clinker es el material base para la fabricación del cemento, su concepto es el siguiente: Es una mezcla de minerales, los cuales son sometidos a un tratamiento térmico a altas temperaturas para modificar las propiedades de la mezcla, con la finalidad de hacerla ideal para la fabricación del cemento. Los principales minerales utilizados para la mezcla de fabricación de Clinker son: Piedra caliza: Roca sedimentaria de una composición de cerca del 60% de carbonato de calcio. Al ser calentadas a altas temperaturas se obtiene óxido de calcio e impurezas. Para la fabricación de Clinker se utilizan calizas que no tengan grandes cantidades de magnesio, ya que reduce la resistencia del hormigón. Pizarra: Rocas constituidas principalmente por óxido de silicio y óxido de aluminio, ofreciendo alcalinidad a la mezcla. Por lo general, representan el 15% de la mezcla de Clinker. Arcilla: Compuesta principalmente por silicatos de aluminio y en menor medida por hierro y aluminio, lo que permite adicionar dureza a la mezcla de materias primas. La mezcla de estos componentes es sometida a temperaturas muy elevadas (por encima de los 1350 OC), dando como resultado el Clinker, cuyos componentes principales son: Silicato tricálcico (60%), Silicato bicálcico (entre 20 y 30%). Aluminato tricálcico (entre 7 y 14%). Ferroaluminato tetra cálcico ( entre 5 y 12%). Esta composición no se encuentra aislada, más bien se encuentra en fases, acompañadas de algunas impurezas. Estas impurezas son de gran importancia para la definición de algunas propiedades importantes del cemento y del hormigón. Las dos bases principales son las siguientes: Alita (silicato tricálcico): Es la base principal de la mayoría de los cementos Portland. De esta base, dependen las propiedades mecánicas de este tipo de cemento y tiene influencia en el tiempo de fraguado y la resistencia inicial. Belita (silicato bicálcico): Su hidratación tiende a ser mucho más lenta, de modo que es de gran influencia en la resistencia del material. Fabrica de cemento Portland. Imagen de iprojectgmhEl cemento es un material de construcción muy popular alrededor del mundo. Es un compuesto en polvo que requiere ser mezclado con agua u otras sustancias para formar una pasta blanquecina-grisácea que se endurece al secarse. Gracias a esta propiedad, es ideal para rellenar huecos en construcciones, como aglutinante en bloques de hormigón y como argamasa. Una definición mucho más completa del cemento es la siguiente: El cemento es un material que presenta propiedades de adherencia y cohesión, el cual se origina mediante la mezcla de diferentes minerales y tiene como principal característica una dureza destacable, lo que lo hace ideal para construcciones. Esta dureza viene dada por la reacciones de hidratos, y la conserva incluso sumergido en agua. Cuando el cemento es mezclado con grava y material árido se crea el hormigón. Tradicionalmente, el cemento puede clasificarse en dos tipos principales: Cemento de origen arcilloso: Como su nombre lo indica, proviene de la mezcla de arcilla y piedra caliza. La relación entre estas es de aproximadamente 1:4. Cemento puzolánico: Proviene de la puzolana, un material silíceo de origen volcánico u orgánico, siendo este material la base de los primeros cementos utilizados por el hombre. Actualmente existen varias tipos de cemento, entre los cuales podemos destacar los siguientes: Este tipo de cemento es el más utilizado alrededor del mundo para la fabricación de hormigón. Su principal característica es que cuenta con una dureza y una resistencia muy superiores a la del cemento tradicional, lo que lo hace ideal para construcciones de gran envergadura que resistan el paso del tiempo. El cemento Portland es producido mediante la pulverización del Clinker Portland y la adición de uno o más tipos de yeso y otros aditivos. Este tipo de cemento al ser mezclado con el agua obtiene características plásticas con capacidades adherentes, además solidifica en pocas horas y se endurece cada vez más a medida que pasa el tiempo. Este proceso de solidificación se debe a la hidratación mineral. Cabe destacar, que si se adicionan materiales calcáreos a esta mezcla se obtiene el famoso cemento plástico, el cual fragua mucho más rápido, lo que lo hace ideal para revestimientos exteriores de edificaciones. Se obtienen de igual forma que los cementos Portland tradicionales, sin embargo, poseen características diferentes debido al cambio de porcentajes de los componentes de la mezcla. Entre los más importantes tenemos: Portland férrico: Como su nombre lo indica, es muy rico en hierro. Se obtiene introduciendo cenizas de pirlita o minerales de hierro en polvo a la mezcla. Son cementos muy resistentes a aguas agresivas. Cemento blanco: Son cementos con bajo contenido de hierro, otorgando una coloración grisácea-blanquecina. Cemento puzolánico: Es una mezcla de puzolana, Clinker Portland y yeso. Es ideal para ser utilizado en climas calurosos. Cuentan con una alta impermeabilidad y son muy duraderos. Cemento siderúrgico: Similar al anterior, sólo que no se utiliza puzolana, en su lugar se utilizan cenizas de carbón. Son muy alcalinos, lo que los hace ideales para reducir la corrosión, y cuentan con alta resistencia química. Sin embargo, no son resistentes a aguas agresivas. Como material de construcción el cemento cuenta con una serie de propiedades, entre las cuales tenemos: Resistente a ataques químicos. Es refractario (resiste altas temperaturas). Elevada resistencia inicial, que por lo general, disminuye con el tiempo. Exotérmico, lo que lo hace ideal para su uso en lugares con bajas temperaturas. Entre los principales usos del cemento, tenemos los siguientes: Para la construcción de carreteras. Como base para la fabricación del hormigón. Como argamasa. Para realizar revestimientos interiores y exteriores de edificaciones. Para crear zonas de vertidos industriales. Como protección para medios marinos. Como mortero en construcciones refractarias. Para la construcción de zonas de alcantarillado y tanques de almacenamiento. Como todo procedimiento industrial, la fabricación del cemento sigue una serie de pasos que permiten la creación del producto final. Estos pasos pueden variar según el tipo de cemento a realizar y la fórmula utilizada, sin embargo, el proceso general es más o menos el mismo y es el que vamos a describir a continuación: Este es el primer paso del proceso de fabricación y viene dado por la explotación de las materias primas (minerales) directamente de las canteras. Por lo general, se trata de arcillas, piedras calizas y pizarras, así como, otros minerales para la fabricación del Clinker. Estos minerales son extraídos mediante máquinas excavadoras, siendo retirados directamente de las canteras y clasificados según el tipo de mineral que se está extrayendo, luego son colocados en camiones y vehículos de carga para ser enviados al proceso de trituración directamente en planta. Una vez que llegan las materias primas al área de trituración (que por lo general, cuenta con dos fases, lo cual puede variar según la metodología de fabricación), como primer paso, se colocan en una trituradora primaria mediante tolvas de gran tamaño, reduciendo considerablemente el tamaño de los minerales. Al salir de la trituradora primaria, los minerales son almacenados. Luego, se realiza una verificación de la composición química de los minerales almacenados mediante análisis específicos de muestras aleatorias. El segundo paso de la trituración consiste en pasar los minerales previamente reducidos de tamaño por una segunda fase de trituración, introduciéndolos mediante tolvas a un proceso secundario de trituración para minimizar aún más el tamaño de las partículas, hasta obtener la granulometría necesaria para ser transportados mediante bandas transportadoras al siguiente paso. Una vez obtenidos y seleccionados los polvos crudos para la mezcla, son transportados hacia la siguiente zona del proceso en donde se realizará una pre-homogeneización que permite dosificar adecuadamente los componentes, reduciendo su variabilidad. Para ello, se van almacenando los diferentes componentes provenientes de las bandas transportadoras en capas uniformes, para posteriormente ser seleccionados de forma controlada y enviados a la molienda. El mineral triturado y pre-homogeneizado llega al área de molienda, y una vez allí, es alimentado a molinos que pueden ser de bolas o de rodillos. De esta manera, se obtienen polvos de gran finura, ideales para la mezcla del Clinker. Al salir de la molienda, los polvos son almacenados en silos para aumentar la uniformidad (homogeneización) de la mezcla. Con el polvo homogeneizado proveniente de los silos de almacenamiento previos, se alimentan pre-calentadores ciclones (por lo general, 4 o 5 ciclones en cascada), donde la materia prima (polvos) es calentada continuamente, con la finalidad de prepararla para el proceso de cocción (preparación del Clinker). Para lograr este objetivo se introduce la materia prima homogeneizada en la parte superior del ciclón (pre-calentador), mientras en contracorriente se hacen pasar gases calientes provenientes del horno, de modo, que la materia prima cruda se pre-caliente a temperaturas cercanas a los 1000 OC, antes de salir de la torre por la parte inferior, para luego ser introducida al horno, mientras los gases salen por la parte superior del pre-calentador. La salida del pre-calentador o pre-calentadores, alimenta directamente un horno que cuenta con una banda transportadora por donde la materia prima pre-calentada pasa y se va cocinando cambiando sus propiedades, hasta obtener el Clinker. Dentro del horno las temperatura son superiores a los 1500 OC (inicialmente son 2000 OC). La materia prima al ir pasando por el horno, va experimentado varias reacciones químicas que dan origen al Clinker. Al salir del horno, el Clinker generado es transportado e introducido en un intercambiador de calor, con el objetivo de reducir su temperatura a unos 1000 OC. Este proceso de enfriamiento se lleva a cabo en un intercambiador de calor (o intercambiadores de calor) donde, por lo general, se inyecta aire frío o ambiente para reducir la temperatura del Clinker. El aire caliente que sale del intercambiador es alimentado al horno, para de esta manera favorecer la combustión y optimizar energéticamente el proceso. Una vez retirado el Clinker enfriado de los intercambiadores de calor (o intercambiador de calor, según sea el caso), es transportado mediante bandas al área de molienda de Clinker, donde es introducido mediante tolvas a un molino que suele ser de rodillos, donde el Clinker se muele y se mezcla con yeso y otros aditivos adicionados mediante tovas al molino. Este molino es un tubo alargado que rota sobre su propio eje. Dentro del molino hay bolas de acero, las cuales colisionan entre sí, gracias a la rotación del tubo. De esta manera, el Clinker es triturado perfectamente y mezclado a la vez con los otros polvos e aditivos, logrando una mezcla muy fina y homogénea, que es nuestra mezcla final, el cemento. Finalizado el proceso de fabricación del cemento, el producto es transportado mediante medios neumáticos hacia los silos de almacenamiento, previa separación según su clase, si es que se han preparado diferentes tipos de cemento en la planta. Este viene siendo el paso final de todo el proceso de fabricación del cemento. Consiste en despachar el cemento almacenado en los silos hacia el área de empaquetamiento, donde mediante máquinas de empaquetado, se introduce el cemento en sacos que son sellados y llevados al área de almacén de distribución. Los sacos son apilados sobre parrillas de madera o pisos de tabla, en condiciones libres de humedad y en hileras de no más de 14 sacos de altura para almacenamientos de 30 días, o de no más de 7 sacos de altura para almacenamientos más prolongados. Luego de ser almacenados, los sacos son colocados en camiones y distribuidos a los clientes mayoristas o enviados directamente a las obras. A continuación, describiremos cómo reacciona el cemento con el agua, con lo que tendremos una idea más clara de lo que ocurre durante esta mezcla y porqué el cemento posee ciertas propiedades: Lo primero que ocurre cuando se mezcla el cemento con el agua es una disolución sólido-líquido, donde se observa una reacción exotérmica inicial que tiene una duración de 10 minutos aproximadamente, logrando una mezcla bastante líquida. Seguidamente, se observa que la mezcla va aglutinando (formación de sustancia gelatinosa o aglutinante), debido a la hidratación del cemento, este aglutinamiento dura aproximadamente una hora. Pasada la hora de hidratación, el cemento comienza a endurecer, esto se debe al alto grado de hidratación del cemento, el cual permite a la sustancia aglutinante que se forma crecer de tal manera que crea puntos de contacto entre las partículas que conforman la mezcla. De este modo, se va inmovilizando la masa de cemento, este paso se conoce como fragua y consiste en el aumento de la viscosidad de la mezcla. Con el paso del tiempo, la película aglutinante saturada va desarrollando una especie de filamentos tubulares. Estos filamentos van aumentando en número, entramándose entre sí, lo que va adicionando dureza progresiva a la mezcla, así como, resistencia mecánica al cemento hidratado. Mientras más pasa el tiempo, el cemento va perdiendo humedad y se va endureciendo más, hasta formar un sólido que no puede ser deformado por medios naturales, este punto es el final del fraguado e indica que la reacción con el agua ha finalizado.