**CAPÍTULO 2**

**2. MARCO TEÓRICO**

**2.1. Generalidades sobre el cemento**

**Cemento natural.** Cemento hidráulico producido por calcinación de una piedra caliza arcillosa, formada naturalmente, a una temperatura debajo del punto de fusión y luego molida hasta un polvo fino. Se dice hidráulico porque fragua y endurece por interacción química con el agua y que es capaz de hacerlo bajo el agua [1].

De manera general, se puede decir que es un material aglomerante y aglutinante capaz de unir fragmentos de propiedades físicas diferentes y así formar un sólido único o piedra artificial.

**Cemento pórtland.** Cemento hidráulico producido por pulverización de clinker de cemento pórtland y usualmente conteniendo sulfato de calcio [2].

**Clinker de cemento pórtland.** Clinker parcialmente fundido por procesos de calcinación, consistente predominantemente de silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos [3].

**Cemento pórtland puzolánico.** Cemento hidráulico consistente de una mezcla uniforme e íntima de cemento pórtland o cemento pórtland de escoria de altos hornos y puzolana fina producida por molido conjunto de clinker de cemento pórtland y puzolana, mezclando cemento pórtland o cemento pórtland de escoria de altos hornos y puzolana finamente molida o una combinación de molido conjunto y mezclado en el cual, la cantidad de puzolana esta dentro de límites especificados [4].

**Pasta de cemento.** Mezcla endurecida o no de material cementante hidráulico finamente molido y agua [5].

**Mortero.** Mezcla de material cementante hidráulico finamente molido, árido fino y agua, en estado endurecido o plástico. Término relacionado con mortero hidráulico [6].

**Reseña histórica del cemento:**

El origen del cemento es tan antiguo, como la humanidad ya que la necesidad que ha tenido el hombre de construir su propio hábitat, así como las estructuras necesarias para su progreso, ha constituido el factor principal en la búsqueda de materiales para esta finalidad.

El cemento se inventó hace aproximadamente 2000 años por los romanos, de forma totalmente fortuita, como ha ocurrido con otros inventos. Al hacer fuego en un agujero recubierto de piedras, consiguieron deshidratar y descarbonatar parcialmente las piedras calcáreas o el yeso, convirtiéndolas en polvo que se deposito entre las piedras. Al llover, dicho polvo unió las piedras entre sí. Los egipcios utilizaron un cemento fabricado con yeso impuro calcinado, que sirvió para unir los bloques de piedra en la construcción de las pirámides. En la edad media hubo una disminución general en la calidad y uso del cemento por lo que con el pasar del tiempo el secreto de la durabilidad del mismo se perdió y tan solo fue posible fabricar cemento de mediana calidad. En 1756, Jhon Smeaton descubrió que los mejores morteros se obtenían al mezclar caliza con un 20-25% de materia arcillosa. Posteriormente en 1824,Jhosep Aspin conoció los estudios de Smeaton y continuo las investigaciones llegando a obtener un material que al mezclarlo con el agua reaccionaba dando lugar al endurecimiento de la pasta producida. Este material endurecido presentaba un aspecto similar al de unas piedras de construcción extraídas en Inglaterra, en la localidad de Pórtland. El prototipo del cemento moderno fue obtenido en 1845 por Isaac Johnson quien quemo una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación del clinker, es decir, pudo fijar las proporciones de materias primas a utilizar, así como la temperatura de cocción, con lo que se asistió al inicio la industria de cemento pórtland. Actualmente, se sabe que obtenemos el clinker quemando una mezcla minuciosa no solo de calcáreos y arcillas sino que se añade otros materiales que contienen sílice y alúmina básicamente; además, que hay tres procesos de fabricación de cemento que utilizan hornos rotativos desarrollados en Inglaterra en 1855: vía seca, vía seca con precalentamiento / pre calcinación y vía húmeda [7].

La palabra cemento puzolánico, proviene del nombre de Puzzuoli, ciudad que queda en el golfo de Nápoles, Italia, en este sitio los romanos extraían el material volcánico que mezclaban con la cal, estos utilizaron éste cemento para construir el coliseo de Roma. Los griegos obtenían estos materiales en la Isla Santorin.

Tipos de cemento pórtland

Como antes se mencionó, los cementos hidráulicos pórtland es el término generoso para describir cementos que se sedimentan y se endurecen reaccionando químicamente con agua. Los cementos pórtland son usados en todos los aspectos de construcciones de concreto. Diferentes tipos de cementos pórtland son fabricados para los diversos requerimientos físicos y químicos de variadas aplicaciones o propósitos puntuales. Para esto se cuenta con algunas especificaciones de la ASTM (American Society for Testing and Materials); que para el cemento pórtland tiene la norma ASTM C150, la misma que clasifica y denota con números romanos cinco tipos de cemento diferentes mostrados a continuación:

Tipo I Normal, no da propiedades específicas.

Tipo II Moderada resistencia a sulfatos.

Tipo III Alta resistencia temprana.

Tipo IV Bajo calor de hidratación.

Tipo V Alta resistencia a los Sulfatos.

Los cementos pórtland especiales se obtienen agregando al cemento pórtland normal otros componentes como la puzolana. El agregado de estos componentes le da a estos cementos nuevas características que lo diferencian del pórtland normal, existen varias denominaciones entre ellas:

Pórtland férrico

Cemento blanco

Cemento puzolánico

Cemento siderúrgico

Cementos de fraguado rápido

Cemento aluminoso

Cemento pórtland adicionado

**Resistencia mecánica:**

Es la propiedad más importante del cemento endurecido en cuanto a los requisitos estructurales, la resistencia mecánica debe ser a la tracción, flexión y compresión. Es un requisito que debe cumplir todo cemento, todo se mide a la compresión y mide la calidad del cemento. La resistencia se hace sobre la pasta de cemento = agua + cemento, sobre cubos de 2"x2"x2", además la mezcla que se utiliza para estos cubos debe ser de proporción 1:3 en volumen y a los 28 días que es cuando el cemento adquiere la una resistencia cercana al 100% [8].

La resistencia mecánica del cemento es la propiedad más importante para el estudio del cemento desde el punto de vista estructural e ingenieril, existen dos teorías sobre el desarrollo:

Le Chatelier(1882)**:** Se basa en que los productos de hidratación tienen solubilidad más baja que los compuestos originales, por lo tanto, después del fenómeno de hidratación se forman cristales alargados y entrelazados, que le dan la propiedad de adhesión y cohesión a la pasta.

Michaellis(1893)**:** El agua saturada de cal, ataca a los silicatos, produciendo silicatos hidratados de calcio (masa gelatinosa), debido a la pérdida del agua, posteriormente se produce entonces un endurecimiento gradual, el cual le da la propiedad de cohesión a la pasta [8].

**2.2. Tipos de curado**

El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el cemento a edades tempranas, de manera que este pueda desarrollar las propiedades para la cual fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después de vertido la pasta en el molde, de manera que el cemento pueda reaccionar y desarrollar las propiedades deseadas.

Sin humedad necesaria, los materiales cementantes en la mezcla, no pueden reaccionar para formar un producto con la propiedad mecánica deseada. El secado puede eliminar el agua necesaria para esta reacción química denominada hidratación y por lo cual el cemento no alcanzará sus propiedades potenciales [7].

Tanto en terreno como en laboratorio, se ha comprobado que un curado deficiente disminuye la resistencia del cemento. Varios estudios demuestran que probetas sin curar, pueden registrar disminuciones de resistencia a compresión a 28 días, de hasta un 40% con respecto a probetas curadas adecuadamente. También se ha determinado que mientras mayor es el retraso en el inicio del curado, mayor será la pérdida de resistencia, observándose por ejemplo, que probetas curadas a partir del tercer día de edad alcanzan sólo un 85% de su resistencia nominal. Aunque aún no existe una conclusión clara al respecto, la pérdida de resistencia a 28 días de edad por efecto del curado parece estar relacionada directamente con las condiciones de humedad de los tres primeros días y en menor medida con la temperatura. Se debe tener presente que la resistencia a la flexotracción es mucho más sensible a las condiciones de curado y contenido de humedad de las probetas al momento del ensayo que en el caso de la compresión [9].

Los métodos para el proceso de curado pueden ser divididos en tres grupos:

Métodos que mantiene la humedad en el cemento por cortos periodos de endurecimientos. Estos pueden ser estancamiento o inmersión, roseado y revestimientos mojados; el cual fue usado por este estudio.

Métodos que reducen la pérdida de humedad para la superficie del cemento y estos pueden ser recubrimiento de papel o plástico y la aplicación de membranas.

Métodos que aceleran la ganancia de resistencia suministrando calor y esto se lo puede realizar mediante vapor de caldera, serpentín calefactor o eléctricamente calentadas.

**2.3 Aditivos**

De manera general se denota que son productos que se adiciona al cemento o al mortero antes o durante su mezcla.

El objetivo de utilizar un aditivo es producir mejoras en la mezcla, según sea la necesidad que no se puede obtener mediante el ajuste de la proporción de la mezcla básica, sin producir un efecto adverso en cualquier otra característica del cemento; se empezó a usar mediados siglo XX y se adiciona al agua o a la mezcla siempre en un porcentaje al peso del cemento [10].

**Clasificación de los Aditivos:**

* Acelerante**:** rápido fraguado y obtención de resistencia a temprana edad (túneles y puentes).
* Permeabilizantes: se adiciona a la mezcla para disminuir el paso de agua a través de los elementos fabricados (tanques, piscinas, baños, etc.).
* Retardantes**:** se utiliza en las centrales de mezclado de cemento, para reducir el tiempo de fraguado y permitir el transporte y bombeo.
* Plastificantes**:** cuando hay necesidad de reducir el agua de mezclado.
* Incorporadores de aire**:** disminuyen la porosidad en el momento del fraguado y adicionan manejabilidad.

**Puzolanas.**

"Las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes"[11].

La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, muy porosa y puede obtenerse a bajo precio. Un cemento puzolánico estándar contiene aproximadamente:

55-70% de clinker pórtland.

30-45% de puzolana.

2-4% de yeso.

Puesto que la puzolana se combina con la cal (Ca(OH)2), se tendrá una menor cantidad de esta última. Pero justamente porque la cal es el componente atacado por las aguas agresivas, el cemento puzolánico será más resistente al ataque de éstas. Por otro lado, como el 3CaOAl2O3 está presente solamente en el componente constituido clinker, la colada de cemento puzolánico desarrollará un menor calor de reacción durante el fraguado. Este cemento es por lo tanto adecuado para ser usado en climas particularmente calurosos o para coladas de grandes dimensiones [11].

**Tipos De Puzolana.**

Las puzolanas se dividen en dos grandes grupos: las puzolanas naturales y las puzolanas artificiales, las mismas que se describen a continuación.

**Puzolanas Naturales.**

Son principalmente rocas tobáceas, volcánicas vítreas de naturaleza traquítica alcalina o pumítica. También son puzolanas naturales las harinas fósiles de naturaleza silícica como la diatomita.

**Puzolanas Artificiales.**

Son determinados subproductos silíceos vítreos, como las cenizas volantes. También pueden serlo ciertas arcillas térmicamente activadas denominadas escorias metalúrgicas.

**Ventajas de la Puzolana.**

Las ventajas específicas más importantes que la mayoría de las puzolanas ofrecen al cemento sobre el resto de aditivos, se detallan a continuación:

* Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
* Mayor resistencia al agua de mar.
* Aumento de impermeabilidad por la reducción de grietas.
* Reducción del calor de hidratación.
* Incremento en la resistencia a la compresión.
* Incrementa la resistencia del acero a la corrosión.
* Aumenta la resistencia a la abrasión.
* Aumento en la durabilidad del cemento.
* Disminuye la necesidad de agua en la mezcla.

**2.3.1 Zeolitas**

La zeolita es un tipo puzolana natural, también se las conoce con el nombre de tobas volcánicas y se forman por las erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas templadas a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo.

Las zeolitas comprenden un grupo de aluminosilicatos cristalinos hidratados de aluminio, cationes alcalinos y alcalino-térreos; con ordenación tridimensional (tectosilicatos). Se caracterizan por poseer una estructura abierta y por su capacidad para incorporar y ceder agua y cationes en su estructura, sin alteraciones importantes en la misma. Esta propiedad es la que da origen a su nombre, que se deriva de las palabras griegas, **zeo***:* que ebulle, y **lithos***:* piedra [10].

En esta armazón el Al sustituye al Si en el centro de los tetraedros estructurales, y los cationes de intercambio se sitúan en diversas posiciones equilibrando las cargas eléctricas; ocasionalmente otros cationes pueden ocupar posiciones estructurales o de intercambio.

Constituyen el grupo mineral más variado y extenso de los que forman la corteza terrestre [10].

Al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 Å, que forman cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento, lo que permite el intercambio iónico y la deshidratación reversible.

La capacidad de intercambio iónico de las zeolitas, combinada con su alta reactividad puzolánica, ejerce una influencia favorable en sus mezclas con cemento pórtland, cuyas características y evoluciones han sido estudiadas a diferentes edades, por varios autores (Costafreda, J. L., Calvo, B. y Estévez, E., 2007). El estudio del comportamiento del sistema de reacción cemento-zeolita natural se ha llevado a cabo por medio de los datos obtenidos de los ensayos físicos-mecánicos, difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x y microscopía electrónica de barrido en otras investigaciones [10].

**Características**

Mineralógicamente, la zeolita se describe desde el punto de vista de sus propiedades naturales, incluyendo la morfología, hábitos y tamaño de cristal o grano, densidad, color, resistencia a la corrosión y abrasión. Otro punto de vista, sería su desempeño físico como un producto para cualquier aplicación especifica, tomando en cuenta también el efecto que causa su color, viscosidad, área superficial, dureza, etc., en la mezcla que esta se incluya.

La aplicación de zeolitas naturales hace uso importante de sus propiedades químicas, que generalmente son intercambio iónico, absorción, deshidratación y rehidratación. Estas propiedades dependen de la estructura del cristal de cada especie y su composición catiónica, por tal motivo se la puede utilizar en diferentes áreas como las que se mencionan a continuación:

* La agricultura.
* La acuicultura.
* Nutrición animal.
* Intercambiadores iónicos.
* Como catalizador en la industria química.
* En la construcción.

Las zeolitas, se clasifican de manera general en nueve principales grupos, las mismas que surgen en las rocas sedimentarias y son [10]:

* Chabazita
* Clinoptilolita
* Erionita
* Mordenita
* Estilbita
* Ferrierita
* Filipsita
* Huelandita
* Laumantita