

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MATERIALES**



SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“CONTROL DE CALIDAD EN LOS COMPONENTES PARA LA
OBTENCIÓN DE CONCRETOS”**

Presentado por el bachiller
YAÑEZ JUAREZ JEANCARLO MIGUEL
Para optar por el título profesional de
INGENIERO DE MATERIALES

**AREQUIPA-PERU
2014**

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres y hermanos que siempre estuvieron a mi lado, a mis profesores de carrera que guiaron en rumbo de mi vocación

RESUMEN

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua. Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos.

Para la elaboración del Clinker portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de fierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua, aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear igual de una sola calidad en ambos casos.

Una característica importante del concreto es su peso unitario, porque es índice de propiedades que a su vez influyen decisivamente en el empleo que se le da. Como es evidente, dicha característica del concreto depende principalmente del peso específico de los agregados que lo integran.

Los aditivos suelen emplearse en la elaboración de concretos, morteros o mezclas de inyección, no sólo para modificar sus propiedades en los estados fresco y endurecido, sino también por economía, para ahorrar energía y porque hay casos en que el uso de un aditivo puede ser el único medio factible para obtener el resultado requerido, citando como ejemplos la defensa contra la congelación y el deshielo, el retardo o la aceleración en el tiempo de fraguado y la obtención de muy alta resistencia.

PALABRAS CLAVE: Calidad de mezcla, Cohesión, Manejabilidad, Requisitos de calidad.

ABSTRACT

Concrete is basically a mixture of two components: aggregates and paste. The paste, composed of portland cement and water, joins the aggregates (sand and gravel or crushed stone) to form a rock-like mass as the paste hardens due to the chemical reaction between the cement and the water. Aggregates are generally divided into two groups: thin and thick.

For the preparation of Clinker portland, raw materials are used that are able to provide mainly lime and silica, and accessoryly iron oxide and alumina, for which limestone and clay materials of suitable composition are selected. These materials are crushed, dosed, ground and mixed intimately until completely homogenized, either dry or wet.

In relation to its use in concrete, water has two different applications: as an ingredient in the preparation of mixtures and as a cured medium of the newly constructed structures. In the first case it is used internally as mixing water, and in the second it is used externally when the concrete is cured with water, although in these applications the characteristics of the water have effects of different importance on the concrete, it is usual that it is recommended use equal quality in both cases.

An important characteristic of concrete is its unit weight, because it is an index of properties that in turn have a decisive influence on the employment given to it. As is evident, this characteristic of concrete depends mainly on the specific weight of the aggregates that comprise it.

Additives are often used in the preparation of concrete, mortars or injection mixtures, not only to modify their properties in the fresh and hardened states, but also by economy, to save energy and because there are cases in which the use of an additive can be the only feasible means to obtain the required result, citing as examples the defense against freezing and thawing, the delay or acceleration in the setting time and obtaining very high resistance.

KEY WORDS: Mixing quality, Cohesion, Handiness, Quality requirements.

INDICE

CONTROL DE CALIDAD EN LOS COMPONENTES PARA LA OBTENCION DE CONCRETOS

DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
CAPITULO I.- GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivo especifico	2
1.4 HIPOTESIS	2
1.5 JUSTIFICACION	2
CAPITULO II.- MARCO TEORICO	3
2.1. INTRODUCCION AL CONCRETO	3
2.2. MATERIALES PARA CONCRETO	5
2.3. COMPOSICIÓN DEL CONCRETO	7
2.4 CEMENTO	9
2.4.1. CEMENTOS CON CLINKER PORTLAND	12
2.4.1.1 Cementos portland simples, mezclados y expansivos	12
2.4.1.2. Cemento blanco	13
2.4.1.3. Cemento para pozo petrolero	15
2.4.2 Cemento de mampostería	16
CAPITULO III.- SELECCIÓN DEL CEMENTO APROPIADO	18
3.2 CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DEL CEMENTO	18
3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA	18
3.4 TIPO CARACTERÍSTICA AJUSTE PRINCIPAL	20
3.5 FINURA DE MOLIENDA	21
	vii

3.6 CEMENTOS RECOMENDABLES POR SUS EFECTOS EN EL CONCRETO	22
3.7 EFECTOS EN EL CONCRETO FRESCO	22
3.7.1. Cohesión y manejabilidad	22
3.7.2. Pérdida de revenimiento	23
3.7.3. Asentamiento y sangrado	24
3.8 Efectos en el concreto endurecido	26
3.8.1. Adquisición de resistencia mecánica	26
3.8.2. Generación de calor	27
3.9 Resistencia al ataque de los sulfatos	28
3.9.1. Estabilidad volumétrica	31
3.9.2. Estabilidad química	32
CAPITULO IV.- AGUA PARA CONCRETO	34
4.1 USOS DEL AGUA	34
4.2 REQUISITOS DE CALIDAD	36
4.2.1 Características físico-químicas	36
4.2.2 Efectos en el concreto	36
4.3 VERIFICACIÓN DE CALIDAD	37
CAPITULO V.- PASTA DE CEMENTO	40
5.2 METODO SLUMP O CONO DE ABRAMS	41
5.3. PRUEBA VICAT	42
CAPITULO VI.- AGREGADOS DEL CONCRETO HIDRAULICO	44
6.2 AGREGADOS PARA CONCRETOS DE DIVERSO PESO UNITARIO	44
6.3 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS DE PESO NORMAL	44
6.3.1 Por el origen de las rocas	44
6.3.2 Por el tamaño de las partículas	47
6.3.3 Materiales contaminantes	49
6.3.3.1 Limo y arcilla	50
6.3.3.2 Materia orgánica	50
6.3.3.3 Partículas inconvenientes	50
6.3.3.4 Sales inorgánicas	50
6.3.4. Calidad física intrínseca	50
6.3.4.1 Peso específico	51
6.3.4.2 Porosidad y absorción	51
6.3.4.3 Sanidad	51

6.3.4.4 Resistencia mecánica	52
6.3.4.5 Resistencia a la abrasión	52
6.3.4.6 Módulo de elasticidad	52
6.3.4.7 Propiedades térmicas	52
6.3.4.8 Tamaño máximo de las partículas	53
CAPITULO VII.- ADITIVOS PARA CONCRETO	54
7.1 DEFINICIÓN	54
7.2. USOS DE LOS ADITIVOS	54
CAPITULO VIII.- CONCRETOS	56
8.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	56
8.3. PROPIEDADES Y USOS.	56
8.3.1. Peso unitario del concreto fresco	57
8.3.2. Temperatura del concreto fresco	57
8.4 TIPOS DE CONCRETOS	57
8.4.1. Concretos translucidos	57
8.4.3. Concreto auto compactante (o líquido)	58
8.4.4. CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO	58
8.4.5. Concreto laminado	59
8.4.6. Concreto para pavimentos rígidos	59
8.4.8. Concreto prefabricado	61
8.4.9. Concreto pre tensado	61
8.4.10. Concretos fríos	62
8.4.11. Concretos ligeros	62
8.4.12. Concreto celular	62
8.4.13. Concretos con adición de fibra	63
CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65

INDICE DE TABLAS

TABLA N°1 Tamaño de grano en agregados	6
TABLA N°2 Tipos de cementos	9
TABLA N°3 Compuesto fórmula del óxido notación abreviada	19
TABLA N°4 Características específicas de los cementos	20
TABLA N°5 Resistencia a la compresión en cementos	27
TABLA N°6 Origen geológico	46
TABLA N°7 Características de los agregados	47

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1 Método del cono de Abrams	42
FIGURA N°2 Prueba Vicat	43

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MATERIALES**

BACHILLER:

YAÑEZ JUAREZ JEANCARLO MIGUEL

SUFICIENCIA PROFESIONAL:

**CONTROL DE CALIDAD EN LOS COMPONENTES PARA LA OBTENCION DE
CONCRETOS**

DR. HÉCTOR VARGAS CÁRDENAS
PRESIDENTE

ING. NICOLAS COLLADO CÁRDENAS
INTEGRANTE

ING. EDWIN URDAY URDAY
SECRETARIO

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más usados en la construcción a nivel nacional, según la Asociación de productores de cemento (Asocem) el consumo per Cápita de cemento en el Perú es de 131 Kg. Por habitante.

Un alto rural, como por ejemplo es usado en una gran variedad de construcciones en el medio rural, como por ejemplo en estructuras hidráulicas, plantas hidroeléctricas, losas, tanques de agua, etc.

Debido a la gran variedad de usos que se da al concreto es que surge la necesidad de probar nuevos productos que mejoren sus características para así poder tener un mejor conocimiento de modo de empleo y de los resultados que se obtienen. En el mercado encontramos diferentes tipos de aditivos que mejoran las características del concreto.

Uno de estos productos son las fibras sintéticas, las cuales evitan la formación de grietas por contracción plástica mediante el bloqueo mecánico de las fibras.

La distribución uniforme de las fibras a través del concreto contribuye a evitar la formación de grandes capilares causados por el movimiento de agua de exudación hacia la superficie. Las fibras sintéticas reducen la permeabilidad mediante la combinación de la reducción de agrietamientos y la disminución de la capilaridad por exudación.

Debido a que la cantidad de agua de exudación varia menos cuando se usan fibras sintéticas, la relación agua/cemento en la superficie es más constante y por lo tanto se obtiene una mayor resistencia a la abrasión, a esta mejoría contribuye igualmente el hecho de que las fibras soportan el asentamiento interno, lo que contribuye a mantener uniforme la exudación.

Las fibras sintéticas reducen la fisuración plásticas del concreto, esto mejora su resistencia al impacto. El módulo de elasticidad relativamente bajo de las fibras sintéticas aporta la capacidad de absorción de choques o impactos

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Para obtener un concreto de buena calidad, no sólo es necesario contar con buenos materiales, que además estén combinados en las cantidades correctas; es necesario también tener en cuenta cómo se hace el mezclado. Estos procesos influirán directamente en la calidad de este importante material. Si uno o varios procesos se realizan de manera deficiente, se obtendrá un concreto de mala calidad, aun utilizando las cantidades exactas de cemento, arena, piedra y agua

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad de los componentes para la obtención de concretos de buena calidad.

1.3.2 Objetivo específico

1. Como influye el cemento portland en el comportamiento y propiedades de la pasta del concreto.
2. Como influye la calidad de agua en comportamiento y propiedades del concreto.
3. Como influye el grado de finura de los agregados en el comportamiento y propiedades del concreto

1.4 HIPOTESIS

Un correcto control de calidad en los componentes del concreto dará como resultado un concreto de buena calidad propiedades físicas y químicas deseadas.

1.5 JUSTIFICACION

La importancia de obtener concreto de resistencia estable, de durabilidad optima, con las proporciones adecuadas dependiendo de la proveniencia del agregado en la ciudad de Huancavelica, es la razón principal del enfoque de esta investigación, debido a que estos aspectos son los que idealmente deben cumplir los ingenieros y constructores.

El concreto, se produce a partir de un diseño de mezcla que consiste en la selección de los constituyentes disponibles, es decir cemento, agregados, agua y aditivos, y su dosificación en cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, una masa volumétrica con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquieran las propiedades de resistencia, durabilidad, estabilidad de volumen y apariencia adecuada.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. INTRODUCCION AL CONCRETO

El concreto es un material durable y resistente pero, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular para exteriores.

Ya sea que adquiera la forma de un camino de entrada amplio hacia una casa moderna, un paso vehicular semicircular frente a una residencia, o una modesta entrada delantera, el concreto proporciona solidez y permanencia a los lugares donde vivimos.

En la forma de caminos y entradas, el concreto nos conduce a nuestro hogar, proporcionando un sendero confortable hacia la puerta.

Además de servir a nuestras necesidades diarias en escalones exteriores, entradas y caminos, el concreto también es parte de nuestro tiempo libre, al proporcionar la superficie adecuada para un patio.

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una revoltura de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados,

dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

1. Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
2. La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
3. La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la matriz cementante.

En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

Finalmente, la compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la matriz cementante con los agregados, depende de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de éstos.

De la esmerada atención a estos tres aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del concreto, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio. Pero esto, que sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

2.2. MATERIALES PARA CONCRETO

El Cemento. De acuerdo a sus propiedades y usos, los tipos de cemento Portland empleados en concreto son los siguientes:

- Tipo 1. Normal. De uso destinado a obras de concreto en general, excepto que se especifique otro tipo de cemento.
- Tipo 2. Empleado en concreto expuesto a la acción moderada de sulfatos y/o donde se requiera bajo calor, generado en el proceso de hidratación del cemento.
- Tipo 3. Especificado cuando se requiera alta resistencia inicial del concreto.
- Tipo 4. La cualidad esencial es su bajo calor de hidratación.
- Es indicado principalmente en construcciones de concreto voluminosas – presas, por ejemplo – para tensiones perjudiciales debido a cambios de volumen en la masa de concreto.
- Tipo 5. Especificado para concreto expuesto a la acción de los sulfatos.

Cemento Portland Puzolánico tipo 1P. Es el cemento Portland que contiene un porcentaje e adicionado de puzolana entre 15% y 45%

Cemento Portland Puzolánico modificado tipo 1PM. Es el cemento que presenta un porcentaje adicionado de puzolana menor de 15%

Generalmente el cemento es comercializado en bolsas, El Volumen de una bolsa de cemento es de un pie cúbico y pesa 42.5 Kg.

En obras grandes, el cemento es comercializado a granel y depositado en silos metálicos cerrados para garantizar sus propiedades e impedir cambios en su composición y características físico químicas.

Los agregados. Los agregados empleados en la elaboración de concretos son la arena y la piedra, provenientes de la desintegración natural o mecánica de las rocas.

La arena es definida como el material, cuyo diámetro o tamaño de los granos es igual o menor que 3/16" (4.76 mm), abertura que corresponde a la malla normalizada N° 4. Consiguientemente, agregado grueso- la piedra –es el retenido en esta malla.

El agregado grueso es identificado por su tamaño (diámetro nominal). Los tamaños son los siguientes: 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2.

TABLA N°1. TAMAÑO DE GRANO EN AGREGADOS

TAMIZ		TAMAÑO MAXIMO mm (in)						
Mm	in	76.1 (3")	50.8 (2")	38.1 (1 ½")	25.4 (1")	19.0 (¾")	12.7 (½")	9.51 (3/8")
76.1	3	100.0						
50.8	2	81.6	100.0					
38.1	1 ½	70.7	81.6	100.0				
25.4	1	57.8	70.7	81.6	100.0			
19.0	¾	50	61.2	70.7	81.6	100.0		
12.7	½	40.9	50.0	57.8	70.7	81.6	100.0	
9.51	3/8	35.4	43.3	50.0	61.2	70.7	87.2	100.0
4.76	No.4	25	30.6	35.0	43.3	50.0	61.2	70.8
2.38	No.8	17.7	12.6	25.4	30.6	53.4	43.3	50.0
1.19	No.16	12.5	15.3	17.7	21.6	25.0	30.6	35.4
0.6	No.30	8.8	10.8	12.5	15.3	17.7	21.6	25
0.3	No.50	6.2	7.7	8.8	10.8	12.5	15.3	17
0.15	No.100	6.4	5.4	6.2	7.7	8.8	10.8	12.6

Fuente: ASTM C33

Generalmente en columnas de edificaciones se emplea piedra hasta de ¾; en vigas y losas, de ½ y en zapatas, hasta de 2.

En todo caso, el tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrado.
- Un tercio del peralte de la losa.
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras de refuerzo o paquetes de barras.

Combinando diversos tamaños se obtienen concretos de mayor densidad o compacidad, la cual se traduce favorablemente en la calidad del concreto.

Los cantos rodados, provenientes de lechos de ríos, proporcionan resistencias a la compresión similares a las obtenidas con piedra triturada; sin embargo, cuando la resistencia a la flexión es requisito esencial, como es el caso de pavimentos, su empleo debe ser restringido porque, debido a las superficies lisas que presentan los granos, la adherencia entre agregado y pasta de cemento es menor que cuando se trata de piedra chancada.

Los métodos de almacenamiento y manejo de los agregados deberán emitir el control del proporcionamiento en obra, de acuerdo a la dosificación propuesta en cada proyecto en particular.

El agua. El agua para el mezclado debe ser limpia y no estar contaminada con aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, al acero o elementos embebidos. Desde luego, el agua potable puede emplearse sin ningún reparo.

2.3. COMPOSICIÓN DEL CONCRETO

El concreto fresco es una mezcla semilíquida de cemento portland, arena (agregado fino), grava o piedra triturada (agregado grueso) y agua. Mediante un proceso llamado hidratación, las partículas del cemento reaccionan químicamente con el agua y el concreto se endurece y se convierte en un material durable. Cuando se mezcla, se hace el vaciado y se cura de manera apropiada, el concreto forma estructuras sólidas capaces de soportar las temperaturas extremas del invierno y del verano sin requerir de mucho mantenimiento. El material que se utilice en la preparación del concreto afecta la facilidad con que pueda vaciarse y con la que se le pueda dar el acabado; también influye en el tiempo que tarde en endurecer, la resistencia que pueda adquirir, y lo bien que cumpla las funciones para las que fue preparado.

Además de los ingredientes de la mezcla de concreto en sí misma, será necesario un marco o cimbra y un refuerzo de acero para construir estructuras sólidas. La cimbra generalmente se construye de madera y puede hacerse con ella desde un sencillo cuadrado hasta formas más complejas, dependiendo de la naturaleza del proyecto. El acero reforzado puede ser de alta o baja resistencia, características que dependerán de las dimensiones y la resistencia que se requieran. El concreto se vacía en la cimbra con la forma deseada y después la superficie se alisa y se le da el acabado con diversas texturas.

El concreto se elabora con *arena* y *grava* (agregado grueso) que constituyen entre el 70 y 75 por ciento del volumen y una pasta cementante endurecida formada por *cemento hidráulico* con *agua*, que con los vacíos forman el resto. Usualmente, se agregan *aditivos* para facilitar su trabajabilidad o afectar las condiciones de su fraguado.

La grava (gravilla) varía en tamaños desde 5 mm hasta 50 mm para los concretos usados en edificaciones y puentes; en concretos especiales como los usados en presas de gravedad los tamaños pueden ser mayores. Requiere buena gradación, resistencia al desgaste, durabilidad, superficies libres de impurezas. El tamaño máximo

está determinado por el proceso de construcción; especialmente influye la separación del refuerzo y las dimensiones del elemento que se pretende construir.

La arena es el material granular que pasa el tamiz N°4, y debe estar libre de impurezas, especialmente orgánicas.

El cemento suministra las propiedades adhesivas y cohesivas a la pasta. Se usa el cemento hidráulico tipo Portland. Para su hidratación requiere cerca del 25% de agua. Sin embargo para mejorar la movilidad del cemento dentro de la pasta se requiere un porcentaje adicional del 10 al 15 %. La relación agua-cemento (a/c) mínima es de 0,35; en la práctica es mayor para darle trabajabilidad a la mezcla de concreto. La relación a/c es uno de los parámetros que más afecta la resistencia del concreto, pues a medida que aumenta, aumentan los poros en la masa y por ende disminuye la resistencia.

El agua de la mezcla debe ser limpia y libre de impurezas y en general debe ser potable. El proceso de hidratación genera calor, que produce aumento de temperatura en la mezcla y expansión volumétrica y que debe controlarse sobre todo en vaciados masivos. Con el fin de controlar el exceso de agua en la mezcla, necesario para facilitar la trabajabilidad del concreto fresco, la tecnología moderna del concreto, facilita los aditivos plastificantes, los cuales además de facilitar el proceso constructivo, permiten obtener concretos de resistencia más uniforme.

Las proporciones de los materiales del concreto deben permitir la mayor compactación posible, con un mínimo de cemento. Las proporciones de una mezcla se definen numéricamente mediante fórmulas, v. gr.: 1:2:4 que representa: "1" parte de cemento, "2" partes de arena, "4" partes de grava, al peso o al volumen. Las proporciones (dosificaciones) al peso son las más recomendables.

Las proporciones en volumen son cada vez menos usadas; se usan donde no se requiere una resistencia muy controlada: aplicaciones caseras o poblaciones pequeñas alejadas de los centros urbanos, y siempre presentan grandes variaciones en su resistencia, no siendo modernamente recomendables. En la ciudades grandes la producción se hace generalmente en plantas de premezclado, lo que permite un control de calidad estricto y una resistencia del concreto más uniforme, con reducción en el consumo de cemento. Una mezcla típica de concreto en el país tiene una resistencia de 210 kg f/cm² (3000 psi), o 21 MPa.

Siendo la compresión la propiedad más característica e importante del concreto, las demás propiedades mecánicas se evalúan con referencia a ella. La resistencia a compresión (f'_c) se mide usualmente mediante el ensayo a compresión en cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura y con 28 días de edad. Últimamente se ha ido popularizando la medida de la compresión con cilindros de menor diámetro, v.gr.: 100 y 75 mm, con las ventajas de menor consumo de concreto para el programa de

control de calidad y menor peso para el transporte de los cilindros; en este caso el tamaño máximo del agregado debe limitarse a 2,5 cm (una pulgada).

La resistencia a compresión (f'_c) varía significativamente con la variación de algunos parámetros, tales como: la relación agua-cemento (a/c), el tamaño máximo de la grava, las condiciones de humedad durante el curado, la edad del concreto, la velocidad de carga, la relación de esbeltez de la muestra (en casos de ensayos sobre núcleos extraídos de concretos endurecidos es diferente de 2, que es la relación de los cilindros estándar, usados para determinar la resistencia del concreto).

Ya se mencionó que el concreto posee una resistencia a la tensión baja y cercana al 10% de la resistencia a compresión; en la actualidad esta resistencia se mide mediante el ensayo de los cilindros apoyados en su arista, denominado "ensayo brasileño".

La resistencia a flexión del concreto, denominada Módulo de Ruptura (f_R) se evalúa mediante el ensayo a flexión de viguetas de concreto simple de 50 cm de longitud y sección cuadrada de 15 cm de lado, con cargas aplicadas en los tercios de la luz. Este parámetro es usado para controlar el diseño de pavimentos de concreto. La norma NSR-98 sugiere un valor de 2 (kg/cm^2).

Módulo de Elasticidad es la pendiente de la parte inicial de la curva esfuerzo-deformación unitaria del concreto y aumenta con la resistencia del concreto a compresión. Se usa normalmente el denominado *módulo secante*, que se obtiene de la pendiente de la recta que une el origen de la curva de esfuerzos vs. deformación unitaria del concreto, con un punto correspondiente a un esfuerzo de $0,45 f'_c$. Esta propiedad del concreto es muy importante para la predicción de las deflexiones producidas por cargas de corta duración en los elementos a flexión. Aunque es un valor que es variable según la resistencia del concreto a compresión, su valor puede asumirse como 200000 kg/cm^2 , para muchos casos en que no sea necesaria demasiada precisión. La NSR-98 sugiere un expresión para su cálculo de: $E_c = 12500 (\text{kg/cm}^2)$

2.4 CEMENTO

TABLA N°2 TIPOS DE CEMENTOS

TIPO DE CEMENTO PORTLAND	CARACTERISTICAS	USOS
TIPO I (Normal)	Es de uso general, utilizado en concretos que no estén sometidos al ataque de factores agresivos (sulfatos existentes en el suelo o en el	Pavimentos, pisos, edificios de concreto armado, puentes, estructuras para vías férreas, tanques y depósitos de agua, tuberías, mampostería y otros

	agua o concretos con aumento considerable de temperatura debido al calor generado durante la hidratación). Se usa cuando no se necesita ninguna de las propiedades de los otros tipos de cemento.	productos de concreto prefabricado.
TIPO II (Resistencia moderada a los sulfatos)	Se usa cuando se deben tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos. Este cemento genera menos calor que el tipo I, cuando se especifican límites máximos para el calor de hidratación.	Se emplea en estructuras de volumen considerable, como en pilas de gran masa, estribos gruesos y muros de contención.
TIPO III (Endurecimiento rápido)	Se caracteriza por proporcionar resistencias elevadas a edades tempranas. Química y físicamente similar al cemento tipo I, excepto que sus partículas se han molido finamente.	Se emplea cuando las cimbras o encofrados deben ser retirados lo más pronto posible o cuando se tenga que poner rápidamente en servicio la estructura.
TIPO IV	Desarrolla resistencia a una velocidad inferior a la de otros tipos de cemento, mantiene en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor provocada por la hidratación.	Es destinado para estructuras de concreto masivo, como presas de gravedad grandes.
TIPO V	La resistencia la adquiere aún más lento que el cemento tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos se incrementa si se incluye aire o se aumentan los contenidos de cemento.	Este tipo de cemento se emplea en concretos expuestos a acciones severas de sulfatos (especialmente en donde los suelos o las agua freáticas contengan fuerte contenidos de sulfatos).
CEMENTOS PORTLAND INCLUSORES DE AIRE	Se encuentran 3 tipos de cementos inclusores de aire (Tipos IA, IIA y IIIA), que producen concretos con resistencias mejoradas contra la acción de la congelación-deshielo y contra la descamación provocada por la aplicación de productos químicos para remover hielo o nieve.	Se utiliza en construcciones sometidas a ciclos de hielo y deshielo: carreteras y puentes en zonas frías, o aplicaciones industriales en las que se trabaje con bajas temperaturas (cuartos fríos, producción de hielo, etc.).

FUENTE: Elaboración propia.

Se denomina cemento en general a aquellos materiales con propiedades de adhesión y cohesión que son capaces de unir partículas sólidas en una masa dura y compacta. En la antigüedad se usaban morteros (mezclas firmes y resistentes a las aguas dulces y marinas) de barro cocido, yeso o cal para unir la mampostería. Fueron los romanos, alrededor de 100 a.C., quienes utilizaron por primera vez el cemento para fabricar hormigón. El cemento que ellos utilizaban era una mezcla de cenizas volcánicas con cal viva. El mejor ejemplo del uso de este cemento en la construcción es el Panteón ubicado en Roma. En lo que respecta al cemento moderno, el primero en hacer algún descubrimiento significativo fue James Parker que en 1796 descubrió el primer tipo de cemento hidráulico por casualidad al calcinar nódulos de caliza arcillosa. Posteriormente, Joseph Aspedin en 1824 que formo patento el cemento Portland llevando a una mezcla de caliza y arcilla a temperaturas suficientes para liberar gas carbónico. Selo denomina cemento Portland por su color gris oscuro verdoso que lo asemeja a la piedra Portland. Pero, debido a que las temperaturas alcanzadas en los hornos no eran muy elevadas se lograba un cemento de baja calidad. Fue en 1845 que Issac C. Johnson logro clinkerizar la mezcla que da lugar al cemento utilizando temperaturas aún mayores, logrando así un cemento muy similar al moderno. En la actualidad, se sigue utilizando el cemento Portland por su bajo costo, a la vez que se realizan investigaciones para mejorar su sostenibilidad mediante el agregado de aditivos. Existe un sinfín de tipos de cementos, su principal división es en hidráulicos y no hidráulicos, siendo los hidráulicos los que se endurecen en el agua brindando así un producto estable y los no hidráulicos los que no

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aun estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí.

Al referirse específicamente al concreto convencional, como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, por lo cual solo procede considerar los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones.

Por otra parte, bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades, en cuya elaboración intervienen normalmente las materias primas.

El cemento no es lo mismo que el concreto, es uno de los ingredientes que se usan en él. Sus primeros usos datan de los inicios de 1800 y, desde entonces, el cemento

portland se ha convertido en el cemento más usado en el mundo. Su inventor le dio ese nombre porque el concreto ya curado es del mismo color que una piedra caliza que se obtiene cerca de Portland, Inglaterra. Este tipo de cemento es una mezcla de caliza quemada, hierro, sílice y alúmina, y las fuentes más comunes donde se pueden obtener estos materiales son el barro, la piedra caliza, esquisto y mineral de hierro. Esta mezcla se mete a un horno de secar y se pulveriza hasta convertirlo en un fino polvo, se empaca y se pone a la venta.

Existen cinco tipos de cemento portland, cada uno con características físicas y químicas diferentes.

2.4.1. CEMENTOS CON CLINKER PORTLAND

2.4.1.1 Cementos portland simples, mezclados y expansivos

Para la elaboración del Clinker portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de fierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1400 C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm, cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina Clinker portland.

Una vez frío, el Clinker se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento portland simple. Además durante, la molienda, el Clinker puede combinarse con una escoria o un material puzolánico para producir un cemento mezclado portland-escoria o portland-puzolana, o bien puede molerse con determinados materiales de carácter sulfo-calcio-aluminoso para obtener los llamados cementos expansivos.

También es factible incorporar aditivos durante la molienda del Clinker, siendo de uso frecuente los auxiliares de molienda y los inclusores de aire. Estos últimos dan por resultado los cementos inclusores de aire para concreto

De conformidad con lo anterior, a partir del Clinker portland es posible fabricar tres principales grupos o clases de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto:

1. Los cementos portland propiamente dichos, o portland simples, moliendo solamente el Clinker y el yeso sin componentes cementantes adicionales.
2. Los cementos portland mezclados, combinando el Clinker y el yeso con otro cementante, ya sea este una escoria o una puzolana.
3. Los cementos expansivos que se obtienen añadiendo al Clinker otros componentes especiales de carácter sulfatado, cálcico y aluminoso.

2.4.1.2. Cemento blanco

El cemento blanco es ideal para un amplio rango de aplicaciones estructurales y arquitectónicas en interiores y exteriores, además de un ingrediente clave para los diseños en concreto y morteros.

El cemento portland blanco se obtiene a partir de la producción del horno de cemento de un Clinker de color blanco, y luego en la molienda de este Clinker, se le adiciona yeso. El Clinker blanco se obtiene de una mezcla finamente dividida de piedra caliza y arcillas blancas de tipo caolín.

La obtención del color blanco del cemento se consigue a través de una selección de sus materias primas libres de materiales que le pudieran dar una tonalidad y color al cemento; y de un permanente cuidado en todas las etapas de fabricación, especialmente la molienda, para preservar su blancura.

Cuando el cemento blanco se mezcla con agua, se inician las reacciones de hidratación, en la cual se produce una reacción química de sus componentes con el agua, de esta forma se produce el endurecimiento de la pasta. En términos generales el cemento blanco necesita una cantidad de agua del orden del 27% del peso del cemento.

La reacción de hidratación tiene dos periodos: el tiempo de fraguado y el tiempo de endurecimiento.

El tiempo de fraguado es aquel durante el cual la pasta de cemento-agua tiene una consistencia plástica y es trabajable. La duración de esta pasta solo es de algunas horas.

Por su parte, el tiempo de endurecimiento comienza a partir del momento en que la pasta se pone rígida y pierde su trabajabilidad. En este tiempo de endurecimiento es cuando se desarrolla la resistencia.

Es por eso que el cemento blanco tiene la misma o mayor resistencia que el cemento gris. Esto se debe destacar porque todavía hay quienes creen que los cementos

blancos no tienen alta resistencia, o que no son aptos para estructuras. La resistencia del cemento no depende de su color, sino de su composición.

Algunos usos.

- Se puede obtener toda la gama de colores (combinando los agregados y pigmentos), acentuando el color y la textura de los agregados.
- Ideal como adhesivo cerámico.
- Acabados en pisos con figuras de losetas.
- Acabados en pisos con figuras de tabique.
- Especial para pegar los azulejos.
- Ideal para hacer apariencias de pisos y adoquín.

El Clinker portland para este cemento se produce seleccionando materias primas con muy bajas proporciones, e incluso nulas, de hierro y manganeso.

El cemento portland blanco se obtiene a partir de la producción del horno de cemento de un Clinker de color blanco, y luego en la molienda de este Clinker, se le adiciona yeso. El Clinker blanco se obtiene de una mezcla finamente dividida de piedra caliza y arcillas blancas de tipo caolín.

La obtención del color blanco del cemento se consigue a través de una selección de sus materias primas libres de materiales que le pudieran dar una tonalidad y color al cemento; y de un permanente cuidado en todas las etapas de fabricación, especialmente la molienda, para preservar su blancura.

Cuando el cemento blanco se mezcla con agua, se inician las reacciones de hidratación, en la cual se produce una reacción química de sus componentes con el agua, de esta forma se produce el endurecimiento de la pasta. En términos generales el cemento blanco necesita una cantidad de agua del orden del 27% del peso del cemento.

La reacción de hidratación tiene dos periodos: el tiempo de fraguado y el tiempo de endurecimiento.

El tiempo de fraguado es aquel durante el cual la pasta de cemento-agua tiene una consistencia plástica y es trabajable. La duración de esta pasta solo es de algunas horas.

Por su parte, el tiempo de endurecimiento comienza a partir del momento en que la pasta se pone rígida y pierde su trabajabilidad. En este tiempo de endurecimiento es cuando se desarrolla la resistencia.

Es por eso que el cemento blanco tiene la misma o mayor resistencia que el cemento gris. Esto se debe destacar porque todavía hay quienes creen que los cementos

blancos no tienen alta resistencia, o que no son aptos para estructuras. La resistencia del cemento no depende de su color, sino de su composición.

Se le destina principalmente a trabajos arquitectónicos y decorativos, en donde no se requieren grandes consumos de cemento, ya que su precio es relativamente alto.

2.4.1.3. Cemento para pozo petrolero

Para las lechadas, morteros y concretos que se emplean en los trabajos de perforación y mantenimiento de pozos petroleros y geotérmicos, deben utilizarse cementantes cuyos tiempos de fraguado sean adecuados a las condiciones de colocación ya las elevadas temperaturas y presiones que en el sitio existan. Con esta finalidad, en las Especificaciones API 10 se reglamentan seis diferentes clases de cemento, aplicables de acuerdo con la profundidad de colocación en el pozo.

A falta de este cemento, en condiciones poco severas puede suplirse con un cemento portland tipo II de producción normal, junto con aditivos reguladores del fraguado añadidos en obra.

Esencialmente es un cemento portland sin adiciones y de alta resistencia a sulfatos. Se fabrica con los mismos materiales y procesos que para [os cementos portland usados en construcción, la diferencia básica está en que los cementos para construcción son más reactivos y más finos para alcanzar resistencias mecánicas satisfactorias a edades tempranas, mientras que éste requiere menos reactivos y finos para dar un tiempo adecuado para su colocación y para prevenir la necesidad de usar cantidades excesivas de aditivos, retardantes y dispersantes a efecto de controlar la velocidad y forma de espesamiento de las lechadas de cementación. El cemento tipo H para pozos petroleros requiere de controles más estrictos que los de los cementos de construcción, para asegurar un producto que mantenga su desempeño adecuado bajo la diversidad de condiciones de temperaturas, presiones y grados de exposición que encontrará en su aplicación.

CARACTERÍSTICAS

Este cemento debe cumplir con los requisitos de la norma API-10A de la American Petroleum Institute de los Estados Unidos:

REQUISITOS FÍSICO-MECÁNICOS

- Resistencia a compresión, curado 8 horas:
- A presión atmosférica y temperatura de Curado de 38°C 300 PSI (2.1 MPa)

BENEFICIOS Y USOS

- Este cemento se utiliza para cementaciones en perforaciones de pozos de petróleo a profundidades hasta de 2400m, sin aditivos.
- Con retardantes, dispersantes y acelerantes puede usarse en un amplio rango de profundidades y temperaturas.
- Mejora la durabilidad del concreto en ambientes con contenidos altos de sulfatos.

2.4.2 Cemento de mampostería

Se llama **mampostería** al sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos, para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos) que pueden ser, por ejemplo:

- ladrillos
- bloques de cemento prefabricados
- piedras, talladas en formas regulares o no

Este sistema permite una reducción en los desperdicios de los materiales empleados y genera fachadas portantes; es apta para construcciones en alturas grandes. La mayor parte de la construcción es estructural.

A la disposición y trabazón dadas a los materiales empleados en los muros se llama aparejo.

En la actualidad, para unir las piezas se utiliza generalmente una argamasa o mortero de cemento y arena con la adición de una cantidad conveniente de agua. Antiguamente se utilizaba también el barro, al cual se le añadían otros elementos naturales como paja, y en algunas zonas rurales excrementos de vaca y caballo.

En algunos casos es conveniente construir el muro sin utilizar mortero, denominándose a los muros así resultantes "muros secos" o "de cuerda seca". Este tipo de trabajo de los muros es típico de las construcciones rurales tradicionales, por ejemplo, en la Alpujarra granadina en la región de Andalucía en España.

Cuando el elemento que conforma el muro es un sillar, a la fábrica resultante se le denomina sillería a hueso, en la que los sillares se colocan en seco sin material que se interponga entre ellos.

Cuando el elemento que conforma el muro es un mampuesto, a la fábrica se le denomina Mampostería en seco, en la que se colocan los mampuestos sin mortero que los una, y a lo sumo se acuñan con ripios.

El cemento de mampostería se emplea en la elaboración de morteros para aplanados, junto de bloques y otros trabajos similares, por cuyo motivo también se le denomina cemento de albañilería. Dos características importantes de este cemento son su plasticidad y su capacidad para retener el agua de mezclado. Tomando en cuenta que sus requisitos de resistencia son comparativamente menores que los del portland, esas características suelen fomentarse con el uso de materiales inertes tales como caliza y arcilla, que pueden molerse conjuntamente con el Clinker o molerse por separado y mezclarse con el cemento portland ya elaborado.

CAPITULO III

SELECCIÓN DEL CEMENTO APROPIADO

En el proceso para definir y especificar el concreto potencialmente idóneo para cada aplicación en particular, es de trascendental importancia la definición del cemento apropiado, ya que de éste dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del concreto.

3.2 CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DEL CEMENTO

La influencia que el cemento portland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante y del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del Clinker y de su finura de molienda. En el caso de los cementos portland-puzolana, habría que añadir a esos dos factores los referentes a las características físicas y químicas de la puzolana y el contenido de ésta en el cemento.

3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante, se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designan como hidratación del cemento. Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidización gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado, y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica en el producto.

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. Con esto admitido, puede decirse que la composición química de un Clinker portland se define convenientemente mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento portland:

TABLA N°3 COMPUESTO FÓRMULA DEL ÓXIDO NOTACIÓN ABREVIADA

COMPUESTO	CONTRIBUCION AL CEMENTO
Silicato tricálcico (3CaO,SiO₂) o “alita” se abrevia S3C Silicato dicálcico (2CaO,SiO₂) o “belita” se abrevia S2C	Son los principales compuestos del clínker, al hidratarse forman los silicatos hidratados de calcio que son los responsables de la resistencia mecánica del cemento.
Aluminato tricálcico (3CaO,Al₂O₃) se abrevia A3C	Compuesto que se hidrata con mayor rapidez, propiciando mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo del calor de hidratación en el concreto.
Aluminoferrito tetracálcico (4CaO,Al₂O₃,Fe₂O₃) o “celita” se abrevia AF4C	Contribuye poco a la resistencia del concreto y reduce la temperatura de formación del clínker, ayudando por tanto a la manufactura del cemento.

Fuente: Elaboración propia

En términos prácticos se concede que los silicatos de calcio (C3S y C2S) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos B hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el C3S aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el C2S a mediano y largo plazo, es decir, se complementan bien para que la adquisición de resistencia se realice en forma sostenida.

El aluminato tricálcico (C3A) es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente, el aluminoferritotetracálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia del concreto, y su presencia más bien es útil como fundente durante la calcinación del Clinker y porque favorece la hidratación de los otros compuestos.

Conforme a esas tendencias de carácter general, durante la elaboración del Clinker portland en sus cinco tipos normalizados, se realizan ajustes para regular la presencia de dichos compuestos de la siguiente manera:

3.4 TIPO CARACTERÍSTICA AJUSTE PRINCIPAL

TABLA N°4 CARACTERISTICAS ESPECIFICAS DE LOS CEMENTOS

CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
no agresiva		I	ninguno	- interiores de edificios, no sometidos a condensaciones - elementos de hormigón en masa	- interiores de edificios, protegidos de la intemperie
normal	humedad alta	IIa	corrosión de origen diferente de los cloruros	- interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones - exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600mm - elementos enterrados o sumergidos	- sótanos no ventilados - cimentaciones - tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600mm - elementos de hormigón en cubiertas de edificios
	humedad media	IIb	corrosión de origen diferente de los cloruros	- exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600mm	- construcciones exteriores protegidas de la lluvia. - tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600mm
marina	aérea	IIIa	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar - elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5km)	- edificaciones en las proximidades de la costa - puentes en las proximidades de la costa - zonas aéreas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral - instalaciones portuarias
	sumergida	IIIb	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar	- zonas sumergidas de diques, pantanales, y otras obras de defensa litoral - cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar
	en zona de mareas	IIIc	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas	- zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral. - zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea
con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	corrosión por cloruros	- instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino - superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas	- piscinas - pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve - estaciones de tratamiento de agua

FUENTE: Elaboración propia

Otro aspecto importante relativo a la composición química del Clinker (y del cemento portland) se refiere a los álcalis, óxidos de sodio (Na₂O) y de potasio (K₂O), cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento con ciertos agregados en el concreto. Esto ha dado motivo para el establecimiento de un requisito químico opcional, aplicable a todos los tipos de cemento portland, que consiste en ajustar el contenido de álcalis totales, expresados como Na₂O, a un máximo de 0.60 por ciento cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos.

3.5 FINURA DE MOLIENDA

El grado de finura del cemento tiene efectos ambivalentes en el concreto. Al aumentar la finura el cemento se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez, y también se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta recién mezclada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto.

Como contrapartida, una finura más alta representa mayor velocidad en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, cuyas consecuencias son indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos del concreto y posible agrietamiento en las estructuras.

En el caso de los cementos portland, debe dárseles una finura de molienda adecuada para cumplir con los valores especificados en cuanto a superficie específica y resistencia a compresión, salvo el tipo III en que no se reglamenta la superficie específica porque se sobreentiende que requiere mayor finura que los otros tipos para cumplir con la función de obtener alta resistencia a edad temprana.

Cuando se fabrica cemento portland simple, prácticamente se muele un solo material (Clinker) que es relativamente homogéneo y de dureza uniforme, de manera que al molerlo se produce una fragmentación y pulverización gradual que se manifiesta en el cemento por curvas de granulometría continua, no bastante que la molienda se prolongue para incrementar la finura como sucede en la fabricación del tipo III. En tales condiciones, la superficie específica es un buen índice de la finura del cemento y de sus efectos correspondientes en el concreto.

Una consecuencia práctica de ello es que si se comparan dos cementos portland del mismo tipo y con igual superficie específica, suele manifestarse poca diferencia en sus requerimientos de agua al elaborar el mismo concreto, aun siendo los que no se reglamenta la superficie específica porque se sobreentiende que requiere mayor finura que los otros tipos para cumplir con la función de obtener alta resistencia a edad temprana.

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. La finura se mide por medio del ensayo del turbidímetro de Wagner (ASTM C 115), el ensayo Blaine de permeabilidad al aire (ASTM C 204), o con la malla No.325 (45 mieras) (ASTM C 430). Aproximadamente del 85% al 95% de las partículas de cemento son menores de 45 micras.

3.6 CEMENTOS RECOMENDABLES POR SUS EFECTOS EN EL CONCRETO

Las condiciones que deben tomarse en cuenta para especificar el concreto idóneo y seleccionar el cemento adecuado para una obra, pueden determinarse por la indagación oportuna de dos aspectos principales:

1. las características propias de la estructura y de los equipos y procedimientos previstos para construirla.
2. las condiciones de exposición y servicio del concreto, dadas por las características del medio ambiente y del medio de contacto y por los efectos previsibles resultantes del uso destinado a la estructura.

Existen diversos aspectos del comportamiento del concreto en estado fresco o endurecido, que pueden ser modificados mediante el empleo de un cemento apropiado, para adecuar los a los requerimientos específicos dados por las condiciones de la obra. Las principales características y propiedades del concreto que pueden ser influidas y modificadas por los diferentes tipos y clases de cemento, son las siguientes:

- Cohesión y manejabilidad
- Concreto Pérdida de revenimiento fresco
- Asentamiento y sangrado
- Tiempo de fraguado
- Adquisición de resistencia mecánica
- Concreto Generación de calor endurecido
- Resistencia al ataque de los sulfatos
- Estabilidad dimensional (cambios volumétricos)
- Estabilidad química (reacciones cemento-agregados)

En algunos aspectos la influencia del cemento es fundamental, en tanto que en otros resulta de poca importancia porque existen otros factores que también influyen y cuyos efectos son más notables. No obstante, es conveniente conocer y tomar en cuenta todos los efectos previsibles en el concreto, cuando se trata de seleccionar el cemento apropiado para una obra determinada.

3.7 EFECTOS EN EL CONCRETO FRESCO

3.7.1. Cohesión y manejabilidad

La cohesión y manejabilidad de las mezclas de concreto son características que contribuyen a evitar la segregación y facilitar el manejo previo y durante su colocación en las cimbras. Consecuentemente, son aspectos del comportamiento del concreto

fresco que adquieren relevancia en obras donde se requiere manipular extraordinariamente el concreto, o donde las condiciones de colocación son difíciles y hacen necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad.

Prácticamente, la finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto, por tanto, los cementos de mayor finura como el portland tipo III o los portland-puzolana serían recomendables en este aspecto. Sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas de concreto segreguen durante su manejo y colocación. Entre tales factores puede mencionarse la composición granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cementante, los aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

3.7.2. Pérdida de revenimiento

Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia, o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura. Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de concreto conservara su consistencia (o revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

Para unas condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de revenimiento también puede resultar influida por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de ésta, la humedad de los agregados, el uso de ciertos aditivos y las características y contenido unitario del cemento. La eventual contribución de estos factores intrínsecos, en el sentido de incrementar la pérdida normal de revenimiento del concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado, es como se indica:

- a) Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez, debido a la evaporación del exceso de agua que contienen.
- b) El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.
- c) El uso de algunos aditivos reductores de agua y superfluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.

- d) El empleo de cementos portland-puzolana cuyo componente puzolánico es de naturaleza porosa y se muele muy finamente, puede acelerar notablemente la pérdida de revenimiento del concreto recién mezclado al producirse un resecamiento prematuro provocado por la avidéz de agua de la puzolana.

En relación con esos dos últimos factores, lo conveniente es verificar oportunamente que exista compatibilidad entre el aditivo y el cemento de uso previsto y, en el caso del cemento portland-puzolana, realizar pruebas comparativas de pérdida de revenimiento con un cemento portland simple de uso alternativo.

Es importante no confundir la pérdida normal de revenimiento que toda mezcla de concreto exhibe en la primera media hora subsecuente al mezclado, con la rápida rigidización que se produce en pocos minutos como consecuencia del fenómeno de falso fraguado en el cemento.

El aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia.

Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de concreto conservara su consistencia (o revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extractos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

3.7.3. Asentamiento y sangrado

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua.

Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden intrínseco, y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas, características deficientes de forma, textura superficial y granulometría en los agregados (particularmente falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante. Consecuentemente, las medidas aplicables para moderar el asentamiento y el sangrado consisten en inhibir la presencia de dichos factores, para lo cual es pertinente:

1. Emplear mezclas de concreto con la consistencia menos fluida que pueda colocarse satisfactoriamente en la estructura, y que posea el menor contenido unitario de agua que sea posible, inclusive utilizando aditivos reductores de agua si es necesario.
2. Utilizar agregados con buena forma y textura superficial y con adecuada composición granulométrica; en especial, con un contenido de finos en la arena que cumpla especificaciones en la materia.
3. Ensayar el uso de un aditivo inclusor de aire, particularmente cuando no sea factible cumplir con la medida anterior.
4. Incrementar el consumo unitario de cemento y/o utilizar un cemento de mayor finura, como el portland tipo III o los portland-puzolana. En relación con esta última medida, es un hecho bien conocido la manera como se reduce la velocidad de sangrado de la pasta al aumentar la superficie específica del cemento.

Sin embargo, existe el efecto opuesto ya mencionado en el sentido de que un aumento de finura en el cemento tiende a incrementar el requerimiento de agua de mezclado en el concreto. Por tal motivo, es preferible aplicar esta medida limitadamente seleccionando el cemento apropiado por otras razones más imperiosas y, si se presenta problema de sangrado en el concreto, tratar de corregirlo por los otros medios señalados, dejando el cambio de cemento por otro más fino como última posibilidad.

Para fines constructivos se considera que el tiempo medido desde que se mezcla el concreto hasta que adquiere el fraguado inicial, es el lapso disponible para realizar todas las operaciones inherentes al colado hasta dejar el concreto colocado y compactado dentro del espacio cimbrado. De esta manera, este lapso previo al fraguado inicial adquiere importancia práctica pues debe ser suficientemente amplio para permitir la ejecución de esas operaciones en las condiciones del trabajo en obra, pero no tan amplio como para que el concreto ya colocado permanezca demasiado tiempo sin fraguar, ya que esto acarrearía dificultades de orden técnico y económico.

La duración del tiempo de fraguado del concreto depende de diversos factores extrínsecos dados por las condiciones de trabajo en obra, entre los que destaca por sus efectos la temperatura. En condiciones fijas de temperatura, el tiempo de fraguado puede experimentar variaciones de menor cuantía derivadas del contenido unitario, la clase y la finura del cemento. Así, por ejemplo, tienden a fraguar un poco más rápido:

- a) las mezclas de concreto de alto consumo de cemento que las de bajo consumo.
- b) las mezclas de concreto de cemento portland simple que las de cemento portland-puzolana las mezclas de concreto de cemento portland tipo III que las de portland tipo II. Sin embargo, normalmente estas variaciones en el tiempo de fraguado son de poca significación práctica y no justifican hacer un cambio de cemento por este solo concepto.

Influencia del cambio de cemento en el proceso de fraguado de la seguido por medio de su resistencia eléctrica. Otro aspecto relacionado con la influencia del cemento sobre el tiempo de fraguado del concreto, se refiere al uso que frecuentemente se hace de aditivos con el fin de alargar ese tiempo en situaciones que lo requieren, como es el caso de los colados de grandes volúmenes de concreto, particularmente cuando se realizan en condiciones de alta temperatura ambiental.

Hay antecedentes en el sentido de que algunos aditivos retardadores del fraguado pueden reaccionar adversamente con ciertos compuestos del cemento, ocasionando una rigidez prematura en la mezcla que dificulta su manejo. Para prevenir este inconveniente, es recomendable verificar mediante pruebas efectuadas anticipadamente, el comportamiento del concreto elaborado con el cemento y el aditivo propuestos.

3.8 Efectos en el concreto endurecido

3.8.1. Adquisición de resistencia mecánica

Conforme se expuso previamente, la velocidad de hidratación y adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento portland depende básicamente de la composición química del Clinker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida. En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico (C2S) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV. Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento portland.

En cuanto a los cementos portland-puzolana, su adquisición inicial de resistencia suele ser un tanto lenta debido a que las puzolanas no aportan prácticamente resistencia a edad temprana. Por otra parte, resulta difícil predecir la evolución de resistencia de estos cementos porque hay varios factores que influyen y no siempre se conocen, como son el tipo de Clinker con que se elaboran y la naturaleza, calidad y proporción de su componente puzolánico.

De acuerdo con las tendencias mostradas puede considerarse que, para obtener el beneficio adecuado de resistencia de cada tipo y clase de cemento en función de sus características, lo conveniente es especificar la resistencia de proyecto del concreto a edades que sean congruentes con dichas características. Consecuentemente, estas edades pueden ser como sigue:

TABLA N°5 RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CEMENTOS

Tipos de cemento Portland	Resistencia a la compresión [%]			
	3 días	7 días	28 días	3 meses
I. Usos generales	100	100	100	100
II. Modificado	85	89	96	100
III. Alta resistencia inicial	195	120	110	100
IV. Bajo calor	-	36	62	100
V. Resistente al sulfato	67	79	85	100

FUENTE: ASTM 150

La adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento Portland depende básicamente de la composición química del Clinker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida. En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato di cálcico (C2S) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV. Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento portland. En cuanto a los cementos portland-puzolana, su adquisición inicial de resistencia suele ser un tanto lenta debido a que las puzolanas no aportan prácticamente resistencia a edad temprana. Por otra parte, resulta difícil predecir la evolución de resistencia de estos cementos porque hay varios factores que influyen y no siempre se conocen, como son el tipo de Clinker con que se elaboran y la naturaleza, calidad y proporción de su componente puzolánico.

3.8.2. Generación de calor

En el curso de la reacción del cemento con el agua, o hidratación del cemento, se produce desprendimiento de calor porque se trata de una reacción de carácter exotérmico. Si el calor que se genera en el seno de la masa de concreto no se disipa

con la misma rapidez con que se produce, queda un remanente que al acumularse incrementa la temperatura de la masa.

El calentamiento del concreto lo expande, de manera que posteriormente al enfriarse sufre una contracción, normalmente restringida, que genera esfuerzos de tensión capaces de agrietarlo. La posibilidad de que esto ocurra tiende a ser mayor a medida que aumenta la cantidad y velocidad de generación de calor y que disminuyen las facilidades para su pronta disipación. Es decir, el riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y las estructuras tienen gran espesor. Obviamente, la simultaneidad de ambos factores representa las condiciones pésimas en este aspecto.

Consecuentemente con lo anterior, una de las medidas recomendables cuando se trata de construir estructuras voluminosas de concreto consiste en utilizar cementos que comparativamente generen menos calor de hidratación.

En lo referente a los cementos portland-puzolana, su calor de hidratación depende del tipo de Clinker que contiene y de la actividad y proporción de su componente puzolánico. De manera general se dice que una puzolana aporta aproximadamente la mitad del calor que genera una cantidad equivalente de cemento. Por consiguiente, cuando se comparan en este aspecto dos cementos, uno portland y otro portland-puzolana elaborados con el mismo Clinker, puede esperarse en el segundo una disminución del calor de hidratación por una cantidad del orden de la mitad del que produciría el Clinker sustituido por la puzolana, si bien es recomendable verificarlo mediante prueba directa porque hay casos en que tal disminución es menor de lo previsto.

Para establecer un criterio de clasificación de los cementos portland en cuanto a generación de calor, es pertinente definir ciertos límites. Así, haciendo referencia al calor de hidratación a 7 días de edad, en el portland tipo IV que por definición es de bajo calor puede suponerse alrededor de 60 cal/g; en el extremo opuesto se ubica el portland tipo III con un calor del orden de 100 cal/g, ya medio intervalo se sitúa el portland tipo II sin requisitos especiales con un calor cercano a 80 cal/g, y al cual se le considera de moderado calor de hidratación.

3.9 Resistencia al ataque de los sulfatos

El concreto expuesto a soluciones de sulfatos puede ser atacado y sufrir deterioro en un grado que depende de los constituyentes del concreto, la calidad del concreto en el lugar, así como el tipo y la concentración del sulfato. Es necesario el conocimiento de las características del concreto resistente a sulfatos, de modo que puedan darse los pasos apropiados para minimizar el deterioro del concreto expuesto a soluciones de sulfatos. En años recientes, el cemento resistente a sulfatos ha sido caracterizado por

su comportamiento. En este espacio se revisan los factores que afectan la resistencia a sulfatos del concreto, buscando poner en perspectiva su influencia y permitiendo así que se tomen medidas prácticas y efectivas para producir concreto resistente a sulfatos, los cuales pueden estar presentes en los efluentes y desechos industriales, como las industrias asociadas con la fabricación de químicos, baterías, aluminio y en la industria minera.

1. Reacción del sulfato con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando sulfatos de calcio (yeso).
2. Reacción del sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado, formando sulfoaluminato de calcio (etringita)

Ataque de sulfatos al concreto

- **Ocurrencia:** a veces se encuentran sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, que ocurren naturalmente en el suelo o disueltos en el agua que corre por el suelo o presentes en agregados (por ejemplo, piritita). El sulfato puede estar presente en los efluentes y desechos industriales tales como los de las industrias asociadas con la fabricación de químicos, baterías, aluminio y en la minería. El agua empleada en las torres de enfriamiento también puede contener sulfatos debido a la acumulación gradual de sulfatos provenientes de la evaporación.

- **Mecanismos:** hay dos reacciones químicas involucradas en el ataque de sulfatos al concreto.

Estas dos reacciones dan como resultado un incremento en el volumen de sólidos, causa de la expansión y descomposición de los concretos expuestos a soluciones de sulfatos. Debe señalarse que los sulfatos y los químicos en general raramente, si acaso lo hacen, atacan el concreto si se encuentran en una forma sólida o seca. Para que resulte un ataque significativo en el concreto, los sulfatos deben estar en solución y por encima de alguna concentración mínima.

El concreto de cemento portland es susceptible de sufrir daños en distinto grado al prestar servicio en contacto con diversas sustancias químicas de carácter ácido o alcalino.

Ácidos inorgánicos:

- Clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, sulfúrico Rápido
- Fosfórico Moderado
- Carbónico Lento

Ácidos orgánicos:

- Acético, fórmico, lácteo Rápido
- Tánico Moderado
- Oxálico, tartárico Despreciable

Soluciones alcalinas:

- Hidróxido de sodio >20, Moderado
- Hidróxido de sodio 10-20, hipoclorito de sodio Lento
- Hidróxido de sodio < 10, hidróxido de amonio Despreciable

Soluciones salinas:

Cloruro de aluminio Rápido

Nitrato de amonio, sulfato de amonio, sulfato de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio

Moderado

Cloruro de amonio, cloruro de magnesio, cianuro de sodio Lento

Cloruro de calcio, cloruro de sodio, nitrato de zinc, cromato de sodio Despreciable

Diversas:

Bromo (gas), solución de sulfito Moderado

Cloro (gas), agua de mar, agua blanda - Lento

Amonio (liquido) Despreciable

Las soluciones alcalinas pueden ocasionar reacciones del tipo álcaliagregado, en concretos con agregados reactivos con los álcalis.

En cuanto a la selección del cemento apropiado, se sabe que el aluminato tricálcio (C3A) es el compuesto del cemento portland que puede reaccionar con los sulfatos externos para dar Bulfoaluminato de calcio hidratado cuya formación gradual se acompaña de expansiones que des integran paulatinamente el concreto.

En consecuencia, una manera de inhibir esa reacción consiste en emplear cementos portland con moderado o bajo contenido de C3A, como los tipos II y V, seleccionados de acuerdo con el grado de concentración de los sulfatos en el medio de contacto. Otra posibilidad consiste en utilizar cementos portland-puzolana de calidad específicamente adecuada para este fin, ya que existe evidencia que algunas puzolanas como las cenizas volante. clase F son capaces de mejorar la resistencia a los sulfatos del concreto. Hay desde luego abundante información acerca del buen comportamiento

que en este aspecto manifiestan los cementos de escoria de alto horno y los aluminosos

3.9.1. Estabilidad volumétrica

Una característica indeseable del concreto hidráulico es su predisposición a manifestar cambios volumétricos, particularmente contracciones, que suelen causar agrietamientos en las estructuras. Para corregir este inconveniente, en casos que lo ameritan, se han desarrollado los cementos expansivos que se utilizan en los concretos de contracción compensada, pero que todavía no se producen localmente.

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%. En el concreto endurecido los cambios de volumen por temperatura son casi para el acero.

El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilata ligeramente. Cuando se permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por el secado aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación, y tiempo. El contenido de cemento tiene un efecto mínimo a nulo sobre la contracción por secado para contenidos de cemento entre 280 y 450 kg por metro cúbico. Cuando el concreto se somete a esfuerzo, se deforma elásticamente. Los esfuerzos sostenidos resultan en una deformación adicional llamada fluencia. La velocidad de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo.

Control de agrietamiento

Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son (1) esfuerzos debidos a cargas aplicadas y (2) esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción. La contracción por secado es una propiedad inherente e inevitable del concreto, por lo que se utiliza acero de refuerzo colocado en una posición adecuada para reducir los anchos de grieta, o bien juntas que predetermine y controlen la ubicación de las grietas. Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente en edades tempranas. Las grietas por contracción del concreto ocurren debido a restricciones. Si no existe una causa que impida el movimiento del concreto y ocurren contracciones, el concreto no se agrieta. Las restricciones pueden ser provocadas por causas diversas. La contracción por de secado siempre es mayor cerca de la superficie del concreto; las porciones húmedas interiores restringen al concreto en las cercanías de la superficie con lo que se pueden producir agrietamientos. Otras causas de restricción son el acero de refuerzo embebido e el

concreto, las partes de una estructura interconectadas entre sí, y la fricción de la subrasante sobre la cual va colocado el concreto. Las juntas son el método más efectivo para controlar agrietamientos. Si una extensión considerable de concreto (una pared, losa o pavimento) no contiene juntas convenientemente espaciadas que alivien la contracción por secado y por temperatura, el concreto se agrietara de manera aleatoria.

Las juntas de control se ranuran, se forman o se aserran en banquetas, calzadas, pavimentos, pisos y muros de modo que las grietas ocurran en esas juntas y no aleatoriamente. Las juntas de control permiten movimientos en el plano de una losa o de un muro. Se desarrollan aproximadamente a un cuarto del espesor del concreto. Las juntas de separación aíslan a una losa de otros elementos e otra estructura y le permiten tanto movimiento horizontales como verticales. Se colocan en las uniones de pisos con muros, columnas, bases y otros puntos donde pudieran ocurrir restricciones. Se desarrollan en todo el espesor de la losa e incluyen un relleno pre moldeado para la junta. Las juntas de construcción se colocan en los lugares donde ha concluido la jornada de trabajo; separan áreas de concreto colocado en distintos momentos. En las losas para pavimentos, las juntas de construcción comúnmente se alinean con las juntas de control o de separación, y funcionan también como estas últimas.

3.9.2. Estabilidad química

De tiempo atrás se reconoce que ningún arqueado es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, debido a los diversos procesos y reacciones químicas que en distinto grado suelen producirse entre ambos. Algunas de estas reacciones son benéficas porque contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta, mejorando las propiedades mecánicas del concreto, pero otras son perjudiciales porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto.

Las principales reacciones químicas que ocurren en el concreto tienen un participante común representado por los álcalis, óxidos de sodio y de potasio, que normalmente proceden del cemento pero eventualmente pueden provenir también de algunos agregados. Por tal motivo, estas reacciones se designan genéricamente como álcali-agregado, y a la fecha se le conocen tres modalidades que se distinguen por la naturaleza de las rocas y minerales que comparten el fenómeno:

- Reacciones deletéreas
- Álcali-sílice
- Álcali-agregado Álcali-silicato
- Álcali-carbonato

Ciertos agregados pueden ser inadecuados para una aplicación particular de construcción de carreteras debido a la composición química de las partículas del agregado. En las mezclas de asfalto, ciertos agregados que tienen una afinidad excesiva por el agua pueden contribuir a que se levante o remueva el asfalto, lo que conduce a la desintegración de las superficies de asfalto.

Se puede decir que un agregado de naturaleza “hidrofóbica” es aquel que tiene un alto grado de resistencia a la remoción de la capa de asfalto en presencia del agua. Por lo general, se puede suponer que la substancia bituminosa en una mezcla bituminosa está presente en la forma de delgadas películas que rodean a las partículas del agregado y que llenan, por lo menos parcialmente, los espacios vacíos entre partículas adyacentes. Estas delgadas películas de material bituminoso se adhieren a la superficie de los agregados normales y contribuyen a la resistencia al corte de la mezcla; este efecto se considera generalmente como parte de la “cohesión” de la mezcla. Para una exposición continua al agua, ya sea en el laboratorio o en el campo, las mezclas bituminosas que contengan ciertos agregados muestran una tendencia definitiva a perder resistencia al corte, “fortaleza”, debido a una disminución en la cohesión que se debe principalmente al reemplazo de las películas bituminosas que rodean a las partículas del agregado con películas similares de agua. Los agregados que exhiben esta tendencia en un grado marcado y nocivo se llaman agregados “hidrofílicos”, que quiere decir “afines al agua”. Por lo contrario, los agregados que muestran poca o ninguna disminución en la resistencia debido a la remoción de la capa asfáltica se llaman “hidrofóbicos” o “repelentes al agua”.

Para juzgar la resistencia relativa a la remoción del asfalto de los agregados, se han utilizado varios procedimientos de laboratorio diferentes, siendo los más destacados la prueba de remoción del asfalto y la prueba de inmersión-compresión. La prueba de remoción de asfalto consiste en recubrir al agregado con el material bituminoso, sumergirlo en agua al agregado recubierto durante 16 a 18 h y luego, observar si el área total del agregado recubierto con una película bituminosa está por encima o por debajo del 95 por ciento. La prueba de inmersión-compresión consiste en comparar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de una mezcla bituminosa (preparados, moldeados y probados de manera estándar) con reproducciones que han sido sujetas a inmersión en agua por un tiempo definido y estandarizado.

Los agregados que se usan en las mezclas de concreto con cemento portland también pueden causar problemas relacionados con la estabilidad química. En ciertas áreas se ha tenido mucha dificultad con agregados que contienen substancias nocivas que reaccionan adversamente con los álcalis presentes en el cemento. Generalmente las reacciones adversas de alcali-agregado provocan la expansión anormal del concreto. Se han creado métodos (Métodos C227 y C289 de la ASTM) para detectar agregados con estas características dañinas y se incluyen indicaciones adecuadas en especificaciones típicas (por ejemplo, ASTM C33)

CAPITULO IV

AGUA PARA CONCRETO

4.1 USOS DEL AGUA

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua, aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos.

Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

En determinados casos se requiere, con objeto de disminuir la temperatura del concreto al ser elaborado, que una parte del agua de mezclado se administre en forma de hielo molido o en escamas. En tales casos, el agua que se utilice para fabricar el hielo debe satisfacer las mismas especificaciones de calidad del agua de mezclado.

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

Una práctica bastante común consiste en utilizar el agua potable para fabricar concreto sin ninguna verificación previa, suponiendo que toda agua que es potable también es apropiada para elaborar concreto; sin embargo, hay ocasiones en que esta presunción no se cumple, porque hay aguas potables aderezadas con citratos o con pequeñas cantidades de azúcares, que no afectan su potabilidad pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación de concreto. En todo caso, la consideración contraria pudiera ser más conveniente, es decir, que el agua para la elaboración del concreto no

necesariamente requiere ser potable, aunque sí debe satisfacer determinados requisitos mínimos de calidad.

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

Algunas de las sustancias que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas y que inciden en la calidad del concreto se presentan a continuación:

- Las aguas que contengan menos de 2000 p.p.m. de sólidos disueltos generalmente son aptas para hacer concretos; si tienen más de esta cantidad deben ser ensayados para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto.
- Si se registra presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio en el agua de la mezcla, estos pueden reaccionar con el cemento produciendo rápido fraguado; en altas concentraciones también disminuyen la resistencia del concreto.
- El alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede producir corrosión en el acero de refuerzo o en los cables de tensionamiento de un concreto pre esforzado.
- El agua que contenga hasta 10000 p.p.m. de sulfato de sodio, puede ser usada sin problemas para el concreto.
- Las aguas acidas con pH por debajo de 3 pueden crear problemas en el manejo u deben ser evitadas en lo posible.

- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo) en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.
- Cuando la salinidad del agua del mar es menor del 3.5%, se puede utilizar en concretos no reforzados y la resistencias del mismo disminuye en un 12%, pero si la salinidad aumenta al 5% la reducción dela resistencia es del 30%.

El agua del curado tiene por objeto mantener el concreto saturado para que se logre la casi total hidratación del cemento, permitiendo el incremento de la resistencia.

Las sustancias presentes en el agua para el curado pueden producir manchas en el concreto y atacarlo causando su deterioro, dependiendo del tipo de sustancias presentes. Las causas más frecuentes de manchas son: El hierro o la materia orgánica disuelta en el agua.

4.2 REQUISITOS DE CALIDAD

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características físico-químicas ya sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

4.2.1 Características físico-químicas

Refiriéndose a las características físico-químicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es relativamente frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, di óxido de carbono disuelto, etc. Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos; por ejemplo la presencia de alguna de estas sustancias, que por lo demás no es común, debe tomarse como un síntoma de **contaminación** que requiere eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplear el agua.

Cuando el agua de uso previsto es potable, cabe suponer en principio que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto, excepto por la posibilidad de que contenga alguna sustancia saborizante, lo cual puede detectarse fácilmente al probarla.

4.2.2 Efectos en el concreto

En diversas especificaciones y prácticas recomendadas, al establecer la calidad necesaria en el agua de mezclado, se pone más énfasis en la valuación de los efectos

que produce en el concreto, que en la cuantificación de las sustancias indeseables e impurezas que contiene. Esto aparentemente se justifica porque tales reglamentaciones están dirigidas principalmente a construcciones urbanas, industriales o similares, cuyo concreto se produce en localidades donde normalmente se dispone de suministro de agua para uso industrial o doméstico.

No siempre ocurre así durante la construcción de las centrales eléctricas, particularmente de las hidroeléctricas, en donde es necesario acudir a fuentes de suministro de agua cuya calidad es desconocida y con frecuencia muestra señales de contaminación. En tal caso, es prudente determinar en primer término las características físico-químicas del agua y, si estas son adecuadas, proceder a verificar sus efectos en el concreto.

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuada puede producir en el concreto, son a corto, mediano y largo plazo. Los efectos a corto plazo normalmente se relacionan con el tiempo de fraguado y las resistencias iniciales, los de mediano plazo con las resistencias posteriores (a 28 días o más) y los de largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos, la reacción álcali-agregado y la corrosión del acero de refuerzo. La prevención de los efectos a largo plazo se consigue por medio del análisis químico del agua antes de emplearla, verificando que no contenga cantidades excedidas de sulfatos, álcalis, cloruros y dióxido de carbono disuelto, principalmente. Para prevenir los efectos a corto y mediano plazo, se acostumbra precalificar el agua mediante pruebas comparativas de tiempo de fraguado y de resistencia a compresión a 7 y 28 días.

En estas pruebas se comparan especímenes elaborados con mezclas idénticas, en las que sólo cambia la procedencia del agua de mezclado: agua destilada en la mezcla-testigo y el agua en estudio en la mezcla de prueba.

4.3 VERIFICACIÓN DE CALIDAD

La verificación de la calidad del agua de uso previsto para elaborar el concreto, debe ser una práctica obligatoria antes de iniciar la construcción de obras importantes, como es el caso de las centrales para generar energía eléctrica. Sin embargo, puede permitirse que esta verificación se omita en las siguientes condiciones:

1. El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y no se le aprecia olor, color ni sabor; no obstante que no posea antecedentes de uso en la fabricación de concreto.
2. El agua procede de cualquier otra fuente de suministro que cuenta con antecedentes de uso en la fabricación de concreto con buenos resultados, y no se le aprecia olor, color ni sabor.

3. Por el contrario, la verificación de calidad del agua, previa a su empleo en la fabricación de concreto, debe ser un requisito ineludible en los siguientes casos:
4. El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y, aunque posee antecedentes de U80 en la fabricación de concreto, se le aprecia cierto olor, color o sabor.
5. El agua procede de cualquier fuente de suministro sin antecedentes de uso en la fabricación de concreto, aunque no manifieste olor, color ni sabor.

Cuando la obra se localiza en las inmediaciones de un centro de población, es muy probable que exista abastecimiento de agua en la localidad, del cual pueda disponerse para fabricar el concreto. Al referirse a esta red de suministro público, es pertinente distinguir entre el agua para uso doméstico y para uso industrial.

La primera por lo general reúne condiciones físico-químicas de potabilidad, salvo eventuales fallas en el aspecto bacteriológico que pueden hacerla impropia para el consumo humano, pero no afectan al concreto.

El agua para uso industrial por lo común no es potable, no sólo en el aspecto bacteriológico sino también en el aspecto físico-químico, pues frecuentemente proviene del tratamiento de aguas negras o es agua reciclada de procesos industriales, por lo cual puede contener sustancias dañinas al concreto. Por tal motivo, siempre es necesario verificar la calidad del agua de uso industrial, a menos que tenga antecedentes de uso con buen éxito en la fabricación de concreto.

Hay otras fuentes de suministro de agua para elaborar el concreto en sitios alejados de los centros de población, como son los pozos, manantiales corrientes superficiales (arroyos y ríos), almacenamientos naturales (lagos lagunas) y almacenamientos creados artificialmente (vasos de presas). Salvo que existan antecedentes de uso del agua en la fabricación de concreto con buenos resultados, debe verificarse invariablemente su calidad antes de emplearla.

En cuanto al agua de mar, su principal inconveniente al ser juzgada como agua de mezclado para concreto, consiste en su elevado contenido de cloruros (más de 20000 ppm) que la convierten en un medio altamente corrosivo para el acero de refuerzo, y esto la hace inaceptable para su empleo en el concreto reforzado. No obstante, en determinados casos se ha llegado a emplear agua de mar para la elaboración de concreto destinado a elementos no reforzados

En la construcción de centrales eléctricas, y en especial hidroeléctricas, es bastante común disponer del agua procedente de corrientes fluviales que pueden contener sustancias contaminantes de diversa índole. La manera recomendable de proceder

en estos casos, consiste en obtener muestras del agua con suficiente anticipación al inicio de las obras, con objeto de verificar sus características fisicoquímicas y sus efectos en el concreto. Estas muestras deben colectarse en diversas épocas del año, para abarcar todas las posibles condiciones de suministro, y del resultado de su verificación debe poder concluirse si el agua es aceptable en su estado original, o si requiere ser sometida a algún tratamiento previo de sedimentación, filtración, etc.

ANÁLISIS DEL AGUA.

Se pueden clasificar como:

- Análisis de componentes mayoritarios: Están orientados a la identificación y cuantificación de los constituyentes más frecuentes en una muestra de agua y suelen estar en la escala de las partes por mil, tal es caso del Mg, Na, y los bicarbonatos.
- Análisis de componentes minoritarios: Buscan identificar y cuantificar componentes cuyas concentraciones son más bajas y se les mide en la escala de partes por millón, como nitratos, fosfatos (detergente y ablandador de agua), Fe, Mn.
- Análisis de componentes traza o específicos: Buscan identificar y cuantificar compuestos menos frecuentes, muchos de ellos en la escala de partes por billón, tal es el caso de metales pesados, pesticidas o compuestos organoclorados (sustancias que resultan de la sustitución en un alcano, un alqueno o de uno o más átomos de hidrógeno por átomos de cloro. (DDT, PVC, dioxinas).

AGUA IDEAL PARA EL HORMIGÓN.

Se admiten todas las aguas potables y las tradicionalmente empleadas, aunque no necesariamente el agua que es buena para el hormigón no necesariamente es buena para beber.

- Para verificar la calidad del agua, se debe hacer ensayos de relación de resistencias a los 7, 28, 90 días de edad, se considera apta al agua si la resistencia de los cubos hechos con el agua cuestionada no es inferior al 90% de la resistencia de los cubos testigos confeccionados con agua destilada (cubos morteros especificaciones norma NTP-339.088).
- Ensayo de la aguja de Vicat (norma NTP-334.079) para ver si se afecta el fraguado.
- Un exceso de impurezas pueden causar manchas (eflorescencias) o corrosión en el acero de refuerzos.

El Agua es utilizada tanto para el amasado como para el curado de hormigón en obra,

cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberá analizarse y deberán rechazarse las que no cumplan una o varias de las siguientes

CAPITULO V

PASTA DE CEMENTO

El cemento al ser mezclado con agua forma una pasta, que tiene la propiedad de rigidizarse progresivamente hasta constituir un sólido de creciente dureza y resistencia.

Estas características son causadas por un proceso físico - químico derivado de la reacción química del agua con las fases mineralizadas del Clinker y que en su primera etapa incluye la solución en agua de los compuestos anhidros del cemento, formando compuestos hidratados. Los compuestos del cemento se hidratan a distinta velocidad, iniciándose con el C_3A y continuando posteriormente con C_4AF , C_3S y C_2S en ese mismo orden.

A partir de ese momento el proceso no es cabalmente conocido, existiendo teorías que suponen la precipitación de los compuestos hidratados, con la formación de cristales entreverados entre sí que desarrollen fuerzas de adherencia, las que producen el endurecimiento de la pasta (Teoría cristaloidal de Le Chatelier) o alternativamente por el endurecimiento superficial de un gel formado a partir de dichos compuestos hidratados (Teoría coloidal de Michaelis), estimándose actualmente que el proceso presenta características mixtas.

El endurecimiento de la pasta de cemento muestra particularidades que son de interés para el desarrollo de obras de ingeniería:

- La reacción química producida es exotérmica, con desprendimiento de calor, especialmente en los primeros días.
- Durante su desarrollo se producen variaciones de volumen, de dilatación si el ambiente tiene un alto contenido de humedad o de contracción si este es bajo

Comprende cuatro elementos fundamentales:

- a) El gel; nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento.
- b) Los poros; son los espacios vacíos que se forman dentro de la masa del concreto.
- c) El cemento hidratado; es la combinación del cemento con el agua.

- d) Los cristales; son elementos cuya presencia se denota en todo concreto, formado por cristales de hidróxido, calcio.

Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

Funciones de la Pasta:

La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto

- a. Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
- b. Separar las partículas de agregado.
- c. Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
- d. Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

Es recomendable, especialmente cuando se trata de losas, columnas y muros, trabajar con mezclas de consistencia plástica. Las mezclas plásticas son cohesivas, no se desmenuzan y fluyen sin segregación.

En una mezcla plástica, hay suficiente cantidad de pasta de cemento de consistencia tal, que los agregados virtualmente flotan en la pasta. Esto permite la incorporación homogénea de los agregados y elimina el potencial riesgo de segregación y de formación de “cangrejas”.

La consistencia de una mezcla puede ser apreciada a simple vista; no obstante, esta manera empírica no es indicativa de la regularidad o uniformidad de la consistencia.

La operación de llenado se realiza por capas, la primera de 7 cm de altura, la segunda de 16 cm y la tercera en exceso, para luego enrasarla con el borde superior. Cada capa es compactada con una varilla de fierro liso, de 16 mm de diámetro y 60 cm de largo y terminada en punta semiesférica, aplicando pruebas de laboratorio.

5.2 METODO SLUMP O CONO DE ABRAMS

Para evaluar y controlar de modo más apropiado la consistencia de las mezclas se emplea el método del asentamiento con el cono de Abrams (NTP 339.035), que consiste en llenar un molde de forma troncocónica, de 30 cm de altura, 20 cm de diámetro en la base mayor y 10 cm de diámetro en la base menor.

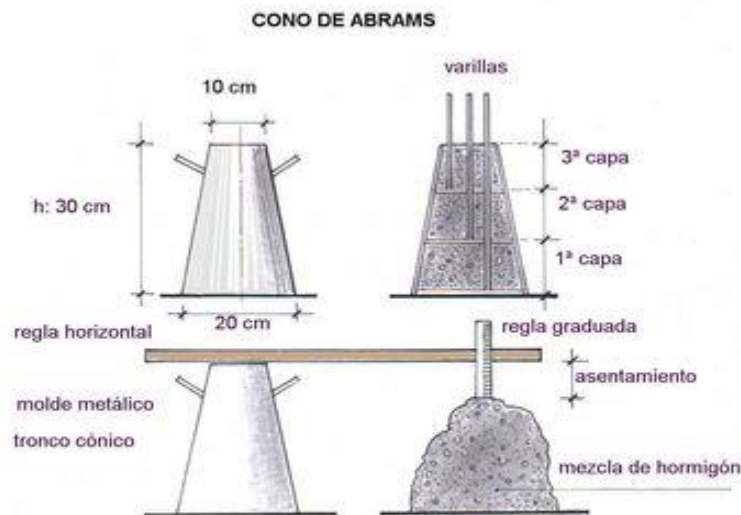
25 golpes, distribuidos uniformemente. La barra debe penetrar en la capa inmediata inferior.

Una vez lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente. Luego se mide el asentamiento de la mezcla al ser desmoldada, tal como indica la fig. 8.1.

Un asentamiento pequeño indica una consistencia rígida o seca, mientras que uno grande revela una consistencia fluida.

Consistencia	Asentamiento (cm)	Observaciones
Seca o rígida	0 a 3	Difícil de trabajar
Medianamente plástica	0 a 3	Apropiada para zapatas, encofrados amplios, pavimentos.
Plástica	8 a 12	Recomendable para Columnas, muros y Losas.
Fluida o suelta	12 a 15	compactación por chuceado.

FIGURA N°1: METODO DEL CONO DE ABRAMS



5.3. PRUEBA VICAT

1. Se procedió a mezclar 500 gr. de cemento blanco con agua a mano, esto con ayuda de una pala de hule para batido y dentro del tambo que la norma específica.

2. Se vació el agua dentro del tambo y subsecuentemente el cemento blanco, se esperó 30 segundos para su absorción y finalmente se mezcló a mano hasta lograr una perfecta integración de la pasta.
3. Una vez elaborada la pasta, se tomó con las manos (utilizando guantes) una porción de esta cuyo volumen fuera aproximado al del molde de prueba. Esta muestra se arrojó seis veces de una a otra mano (estando estas aproximadamente a 15 cm una de la otra) para así lograr una forma redondeada del espécimen.
4. Se introdujo la muestra dentro del molde cónico rígido (sin comprimir) y se afinó la superficie, se colocó la base de acrílico sobre el cono y se volteó en conjunto. Finalmente se colocó el espécimen de prueba en el aparato Vicat.
5. Una vez colocado el espécimen de prueba de manera centrada en el aparato Vicat, se llevó el borde de la varilla móvil del aparato hasta el ligero contacto con la parte superior de la muestra, se fijó en ese punto, se calibró la marca de graduación y se soltó la varilla.

Se esperó durante 30 segundos y se midió la penetración de la varilla en la muestra, en milímetros; debiéndose obtener una penetración de 10mm.

La prueba se repetirá hasta que la penetración de la varilla se encuentre dentro de los límites establecidos por la norma, preparando una nueva muestra de pasta por cada prueba realizada.

FIGURA N°2 PRUEBA VICAT



CAPITULO VI

AGREGADOS DEL CONCRETO HIDRAULICO

En las mezclas de concreto hidráulico convencional, los agregados suelen representar entre 60 y 75 por ciento, aproximadamente, del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de los agregados ejercen en las del correspondiente concreto.

6.2 AGREGADOS PARA CONCRETOS DE DIVERSO PESO UNITARIO

Una característica importante del concreto es su peso unitario, porque es índice de propiedades que a su vez influyen decisivamente en el empleo que se le da. Como es evidente, dicha característica del concreto depende principalmente del peso específico de los agregados que lo integran.

Procede hacer notar que tanto los concretos ligeros como el concreto pesado, requieren de agregados especiales y tienen usos específicos que resultan fuera del campo de aplicación que se considera convencional, en el que casi todo el concreto que se utiliza es de peso normal.

6.3 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS DE PESO NORMAL

Los agregados de peso normal comúnmente proceden de la desintegración, por causas naturales o medios artificiales, de rocas con peso específico entre 2.4 y 2.8, aproximadamente; de manera que al utilizarlos se obtienen concretos con peso volumétrico, en estado fresco, en el intervalo aproximado de 2200 a 2550 kg./m³. Existen diversas características en los agregados, cuyas diferencias permiten clasificarlos e identificarlos. Las principales características que sirven a tal fin, se indican a continuación:

6.3.1 Por el origen de las rocas

Una primera razón para establecer diferencia entre los agregados, se refiere al distinto origen de las rocas que los constituyen. La definición del origen y la composición de las rocas es un asunto útil y necesario, porque permite inferir ciertos aspectos relacionados con el comportamiento de las mismas al ser utilizadas como agregados en el concreto.

Por su génesis geológica, las rocas se dividen en ígneas, sedimentarias y metamórficas, las que a su vez se subdividen y clasifican en diversos tipos de acuerdo con sus características textuales y mineralógicas.

Las rocas ígneas, o endógenas, proceden de la solidificación por enfriamiento de la materia fundida (magma) y pueden dividirse en dos grupos: las rocas intrusivas, o plutónicas, que provienen del enfriamiento lento que ocurre inmediatamente abajo de la superficie terrestre, y las extrusivas, o volcánicas, que se producen por el enfriamiento rápido del material que es expulsado en las erupciones volcánicas (derrames lávicos y eventos piroclásticos). Las rocas ígneas se clasifican por su textura, estructura y composición mineralógica y química, de igual modo que las otras clases de rocas.

Las rocas sedimentarias, como su nombre lo indica, son el resultado del proceso de transporte, depósito y eventual litificación, sobre la corteza terrestre, de los productos de intemperismo y erosión de otras rocas preexistentes; proceso que frecuentemente se produce bajo el agua, pero también puede ocurrir en el ambiente atmosférico. Su grado de consolidación puede ser muy variable, desde un estado muy compacto en antiguos sedimentos, hasta un estado prácticamente sin consolidar en sedimentos cuyo proceso es relativamente reciente o no existen condiciones favorables para su consolidación. De acuerdo con el tamaño de sus partículas, estos sedimentos no consolidados se identifican como gravas, arenas, limos y arcillas.

Las rocas metamórficas se forman como consecuencia de procesos que involucran altas presiones y temperaturas y de fuerzas que se generan en la corteza terrestre, cuyos efectos pueden manifestarse sobre rocas ígneas, sedimentarias e inclusive metamórficas previamente formadas. Tales efectos se traducen en alteraciones de la textura, estructura y composición mineralógica, e incluso química, de las rocas originales. Las rocas metamórficas resultantes pueden ser de estructura masiva, pero con mayor frecuencia presentan estructura laminar, o foliada, de manera que al desintegrarse pueden producir fragmentos con tendencia tabular, de acuerdo con su grado de foliación.

Las rocas en general se hallan constituidas por minerales cuyas características permiten reconocerlos y cuantificarlos. Aunque hay algunos casos de rocas constituidas por un solo mineral, la mayoría se hallan compuestas por varios minerales. A medida que la roca se fragmenta y las partículas se reducen de tamaño, resulta más difícil identificarla. Así, en los fragmentos con tamaño de grava se conservan la variedad de minerales, la textura y la estructura de la roca original; en las partículas de arena de mayor tamaño todavía es posible que se conserven e identifiquen las características mineralógicas y estructurales de la roca de origen, pero en los granos de arena de menor tamaño solamente resulta factible la identificación de los minerales.

Para definir el origen geológico y la composición mineralógica de las rocas que integran los agregados, y para hacer una estimación preliminar de su calidad físico-química, se acostumbra realizar el examen petrográfico aplicando una nomenclatura normalizada como la ASTM C 294. Con base en ésta, se formaron las tablas 1.6 y 1.7;

en la primera se incluye una relación de los principales minerales que de ordinario se hallan presentes en las rocas que son fuente de agregados de peso normal, y en la segunda se hace un resumen de la composición mineralógica y otras características comunes de dichas rocas.

- a. Dado que existen numerosas fuerzas y eventos de la naturaleza capaces de ocasionar la fragmentación de las rocas, los productos fragmentados también suelen presentar variadas características como consecuencia del distinto modo de actuar de las fuerzas y eventos causantes. Esto, sumado a la diversidad de clases y tipos de rocas, da por resultado una amplia variedad de características en los agregados cuya fragmentación es de origen natural.
- b. Algunas de las causas naturales que con mayor frecuencia producen la fragmentación de las rocas, y la denominación que usualmente se da a los productos fragmentados, se indican a continuación.

TABLA N°6 ORIGEN GEOLOGICO

Origen de la fragmentación	Producto resultante
a) Acción erosiva de las aguas pluviales, combinada con la erosión hidráulica y mecánica producida por el acarreo de fragmentos a lo largo del curso de las corrientes de agua superficiales.	a) Aluviones: cantos rodados, gravas arenas, limos y arcillas en depósitos fluviales y lacustres.
b) Acción expansiva del agua al congelarse, combinada con la erosión mecánica producida por el arrastre de fragmentos por medio de la nieve y el hielo en el cauce de los glaciares.	b) Morrenas: bloques, cantos rodados gravas, arenas, limos y arcillas I en depósitos glaciares. i- Depósitos marinos: gravas, arenas limos y arcillas, depositados a lo largo de las costas, formando playas.
c) Acción erosiva del agua de mar, combinada con la erosión mecánica producida por el arrastre y acarreo de fragmentos por medio del oleaje, las mareas y las corrientes marinas.	c) Depósitos edlicos: arenas finas, limos y arcillas, que se depositan y acumulan formando dunas y ménos.
d) Acción desintegrante debida al diastrofismo y al intemperismo, combinada con la erosión mecánica producida por el transporte de fragmentos por medio del viento.	d) Depósitos piroclásticos: grandes fragmentos, bombas y bloques, cenizas volcánicas, que se depositan en las zonas de influencia de los volcanes, de acuerdo con la magnitud de las erupciones.
e) Fragmentación de la masa de roca fundida (magma) por efecto de las fuerzas que se generan en las erupciones volcánicas.	

FUENTE: Elaboración propia

Los agregados naturales de esta fuente resultan especialmente útiles para la construcción de las centrales hidroeléctricas y en general para todas aquellas obras que los tienen disponibles a distancias razonables. Aunque sus características granulométricas y de limpieza pueden ser muy variables de un depósito a otro, e incluso dentro de un mismo depósito, mediante una acertada selección y un procesamiento adecuado, casi siempre es posible ponerlos en condiciones apropiadas para su utilización en el concreto.

6.3.2 Por el tamaño de las partículas

Se ha dicho que el concreto hidráulico es la aglutinación mediante una pasta de cemento, de un conjunto de partículas de roca cuyas dimensiones comprenden desde micras hasta centímetros. Para el caso del concreto convencional, en que se utilizan mezclas de consistencia plástica, la experiencia ha demostrado la conveniencia que dentro de ese intervalo dimensional se hallen representados todos los tamaños de partículas y que, una vez que se ha establecido mediante pruebas la composición del concreto con determinados agregados, debe mantenerse razonablemente uniforme esta composición durante la producción, a fin de que las características y propiedades del concreto resulten dentro de un marco de variación predecible.

a) Agregado natural

Para mantener una adecuada uniformidad en la granulometría de los agregados durante su utilización en la elaboración del concreto, el procedimiento consiste en dividirlos en fracciones que se dosifican individualmente. Puesto que el grado de uniformidad asequible está en función del intervalo abarcado por cada fracción, lo deseable es dividir el conjunto de partículas en el mayor número de fracciones que sea técnica, económica y prácticamente factible.

TABLA N°7 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS	Manejabilidad	Resistencia mecánica
<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables) • Densidad (gravedad específica) • Sanidad, Absorción y porosidad • Forma de partículas • Textura superficial 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de agua • Sangrado • Requerimiento de agua • Contracción plástica • l Peso unitario • Requerimiento de agua • Pérdida de revenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios volumétricos • Economía • Durabilidad • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Peso unitario • Durabilidad

<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño máximo • Reactividad con los Álcalis • Módulo de elasticidad • Resistencia a la abrasión • Resistencia mecánica (por aplastamiento) • Partículas friables y terrones de arcilla • Coeficiente de expansión térmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Contracción plástica • Manejabilidad • Requerimiento de agua • Sangrado • Manejabilidad • Requerimiento de agua • Segregación • Peso unitario • Requerimiento de agua • Contracción plástica 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad • Permeabilidad • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Economía • Resistencia al desgaste • Economía • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Peso unitario • Permeabilidad • economía • Durabilidad • módulo de elasticidad • cambios volumétricos • Resistencia a la abrasión • Durabilidad • resistencia mecánica • resistencia mecánica • durabilidad • eventos superficiales • propiedades térmicas
---	---	---

Fuente: Elaboración propia

b) Agregado fino

La composición granulométrica de la arena se acostumbra analizar mediante su separación en siete fracciones, cribándola a través de mallas normalizadas como "serie estándar", cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 mm .De esta manera, para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente.

De esta manera, para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente , sino de preferencia dejar abierta la posibilidad de que puedan emplear arenas con ciertas deficiencias granulométricas, siempre y cuando no exista la alternativa de una arena mejor graduada, y se demuestre mediante pruebas que la arena en cuestión permite obtener concreto de las características y propiedades requeridas a costo razonable.

c) Agregado grueso

De igual modo que en el caso de la arena, es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, si bien los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena.

Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por mallas cuyas aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaño a fin de compararla con los límites granulométricos que le sean aplicables.

Para la utilización de la grava en la elaboración del concreto, se acostumbra subdividirla en fracciones que se manejan y dosifican individualmente en proporciones adecuadas para integrar la curva granulométrica requerida en la grava total.

De acuerdo con lo anterior, cuando se verifica la granulometría de una muestra de grava, pueden presentarse dos casos que ameritan la aplicación de criterios de juicio diferentes. El primer caso es cuando se analiza una muestra de grava integral procedente de una determinada fuente de suministro propuesta y se requiere juzgar si contiene todos los tamaños en proporciones adecuadas para integrar la granulometría requerida en el concreto, o si es posible considerar la trituración de tamaños mayores en exceso para producir tamaños menores faltantes, o bien si resulta necesario buscar otra fuente de suministro para substituir o complementar las deficiencias de la fuente en estudio.

El segundo caso se refiere a la verificación granulométrica de fracciones individuales de grava, previamente cribadas a escala de obra, a fin de comprobar principalmente si el proceso de separación por cribado se realiza con la precisión especificada dentro de sus correspondientes intervalos nominales. En tal caso, debe prestarse atención especial a la cuantificación de los llamados defectos de clasificación representados por las partículas cuyas dimensiones resultan fuera del intervalo nominal de la fracción, y para los cuales hay limitaciones específicas. A las partículas menores que el límite inferior del intervalo se les denomina subtamaño nominal ya las mayores que el límite superior del intervalo, sobre tamaño nominal.

6.3.3 Materiales contaminantes

Existen diversos materiales que con cierta frecuencia acompañan a los agregados, y cuya presencia es inconveniente por los efectos adversos que producen en el concreto. Entre dichos materiales contaminantes, los más comunes son los finos indeseables (limo y arcilla), la materia orgánica, el carbón y el lignito, las partículas ligeras y los terrones de arcilla y otras partículas desmenuzables.

Si bien lo deseable es disponer de agregados completamente libres de estas materias perjudiciales, en la práctica esto no siempre es factible, por lo cual se hace necesario tolerarlas en proporciones suficientemente reducidas para que sus efectos nocivos resulten poco significativos.

6.3.3.1 Limo y arcilla

El limo es el material granular fino, sin propiedades plásticas, cuyas partículas tienen tamaños normalmente comprendidos entre 2 y 60 micras aproximadamente, en tanto que la arcilla corresponde al material más fino, integrado por partículas que son menores de 2 micras y que sí posee propiedades plásticas.

6.3.3.2 Materia orgánica

La materia orgánica que contamina los agregados suele hallarse principalmente en forma de humus, fragmentos de raíces y plantas, y trozos de madera. La contaminación excesiva con estos materiales, básicamente en la arena, ocasiona interferencia en el proceso normal de hidratación del cemento, afectando la resistencia y durabilidad del concreto.

6.3.3.3 Partículas inconvenientes

Además de los contaminantes ya mencionados, hay fragmentos de materiales de calidad inadecuada que con cierta frecuencia se encuentran en los agregados, principalmente en los de origen natural. Entre dichos materiales inconvenientes cabe mencionar las partículas suaves y desmenuzables, como los terrones de arcilla y los fragmentos de rocas alteradas, las partículas ligeras como las de carbón y lignito y las de rocas muy porosas y débiles.

6.3.3.4 Sales inorgánicas

Las sales inorgánicas que ocasionalmente pueden hallarse como contaminación en los agregados de origen natural son los sulfatos y los cloruros, principalmente estos últimos, como ocurre en los agregados de procedencia marina. La presencia excesiva de estas sales en el seno del concreto es indeseable por los daños que pueden ocasionar, si bien difieren en su forma de actuar y en la manifestación e intensidad de sus efectos.

6.3.4. Calidad física intrínseca

Al examinar la aptitud física de los agregados en general, es conveniente diferenciar las características que son inherentes a la calidad esencial de las rocas constitutivas,

de los aspectos externos que corresponden a sus fragmentos. Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas, destacan su peso específico, sanidad, porosidad y absorción, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, módulo de elasticidad y propiedades térmicas.

6.3.4.1 Peso específico

Es frecuente citar el término densidad al referirse a los agregados, pero aplicado más bien en sentido conceptual. Por definición, la densidad de un sólido es la masa de la unidad de volumen de su porción impermeable, a una temperatura especificada, y la densidad aparente es el mismo concepto, pero utilizando el peso en el aire en vez de la masa.

Ambas determinaciones suelen expresarse en gramos entre centímetro cúbico (g/cm³) y no son rigurosamente aplicadas en las pruebas que normalmente se utilizan en la tecnología del concreto, salvo en el caso del cemento y otros materiales finamente divididos.

6.3.4.2 Porosidad y absorción

La porosidad de un cuerpo sólido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen. Todas las rocas que constituyen los agregados de peso normal son porosas en mayor o menor grado, pero algunas poseen un sistema de poros que incluye numerosos vacíos relativamente grandes (visibles al microscopio), que en su mayoría se hallan interconectados, y que las hace permeables. De este modo algunas rocas, aunque poseen un bajo porcentaje de porosidad, manifiestan un coeficiente de permeabilidad comparativamente alto, es decir, más que el contenido de vacíos influye en este aspecto su forma, tamaño y distribución. Por ejemplo, una roca de estructura granular con 1 por ciento de porosidad, puede manifestar el mismo coeficiente de permeabilidad al agua, que una pasta de cemento hidratada con 50 por ciento de porosidad pero con un sistema de poros submicroscópicos.

6.3.4.3 Sanidad

Entre los atributos que permiten definir la calidad física intrínseca de las rocas que constituyen los agregados, tiene mucha importancia la sanidad porque es buen índice de su desempeño predecible en el concreto.

En la terminología aplicable, la sanidad se define como la condición de un sólido que se halla libre de grietas, defectos y fisuras. Particularizando para el caso de los agregados, la sanidad se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente la que corresponde al

intemperismo. En estos términos, resulta evidente la estrecha relación que se plantea entre la sanidad de los agregados y la durabilidad del concreto en ciertas condiciones.

6.3.4.4 Resistencia mecánica

De acuerdo con el aspecto general del concreto convencional en este concreto las partículas de los agregados permanecen dispersas en la pasta de cemento y de este modo no se produce cabal contacto permanente entre ellas. En tal concepto, la resistencia mecánica del concreto endurecido, especialmente a compresión, depende más de la resistencia de la pasta de cemento y de su adherencia con los agregados, que de la resistencia propia de los agregados solos.

Sin embargo, cuando se trata del concreto de muy alta resistencia, con valores superiores a los 500 kg. /cm², o del concreto compactado con rodillo (CCR) en que si se produce contacto entre las partículas de los agregados, la resistencia mecánica de éstos adquiere mayor influencia en la del concreto.

6.3.4.5 Resistencia a la abrasión

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general, y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo. Asimismo, se le considera un buen indicio de su aptitud para soportar sin daño, las acciones de quebrantamiento que frecuentemente recibe el agregado grueso en el curso de su manejo previo a la fabricación del concreto.

6.3.4.6 Módulo de elasticidad

Las propiedades elásticas del agregado grueso, son características que interesan en la medida que afectan las correspondientes del concreto endurecido, en particular su módulo de elasticidad y su relación de Poisson.

6.3.4.7 Propiedades térmicas

El comportamiento del concreto sometido a cambios de temperatura, resulta notablemente influido por las propiedades térmicas de los agregados; sin embargo, como estas propiedades no constituyen normalmente una base para la selección de los agregados, lo procedente es verificar las propiedades térmicas que manifiesta el concreto, para tomarlas en cuenta al diseñar aquellas estructuras en que su influencia es importante. Entre las propiedades térmicas del concreto, la que interesa con mayor

frecuencia para todo tipo de estructuras sujetas a cambios significativos de temperatura, es el coeficiente de expansión térmica lineal, que se define como el cambio de dimensión por unidad de longitud, que ocurre por cada grado de variación en la temperatura, y que se expresa de ordinario en millonésima/°C.

6.3.4.8 Tamaño máximo de las partículas

En un conjunto de partículas de agregados para concreto, es pertinente distinguir entre el tamaño máximo efectivo y el que se designa como tamaño máximo nominal. El primero se identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente. La determinación de este tamaño máximo es necesaria cuando se analizan granulométricamente muestras representativas de depósitos naturales, a fin de conocer el tamaño máximo disponible en el depósito en estudio; y su verificación es una medida de control indispensable durante el suministro del agregado grueso ya clasificado, previamente a su empleo en la fabricación del concreto, para prevenir que se le incorporen partículas mayores de lo permitido, que pueden ocasionar dificultades en su elaboración, manejo y colocación.

El tamaño máximo nominal del agregado es el que se designa en las especificaciones como tamaño máximo requerido para el concreto de cada estructura en particular, y se define de acuerdo con diversos aspectos tales como las características geométricas y de refuerzo de las estructuras, los procedimientos y equipos empleados para la colocación del concreto, el nivel de la resistencia mecánica requerida en el concreto, etc. Debido a la dificultad práctica de asegurar una dimensión máxima precisa en el tamaño de las partículas durante la clasificación y el suministro del agregado grueso, es usual conceder una tolerancia dimensional con respecto al tamaño máximo nominal, pero limitando la proporción de partículas que pueden excederlo. De esta manera, no basta con especificar el tamaño máximo nominal, sino que también es necesario definir el tamaño máximo efectivo permisible y la proporción máxima de partículas que puede admitirse entre el tamaño máximo nominal y el efectivo, es decir, lo que constituye el sobre tamaño nominal tolerable.

CAPITULO VII

ADITIVOS PARA CONCRETO

7.1 DEFINICIÓN

Debido a que los componentes básicos del concreto hidráulico son el cemento, el agua y los agregados, cualquier otro ingrediente que se incluya en su elaboración puede ser considerado, literalmente hablando, como un aditivo.

Sin embargo, en la práctica del concreto hidráulico convencional, no se consideran aditivos las puzolanas y las escorias cuando forman parte de un cemento portland-puzolana. portland-escoria, ni tampoco las fibras de refuerzo porque dan origen a concretos que no se consideran convencionales.

Con estas salvedades, resulta válida la definición propuesta por el Comité ACI 116, según la cual un aditivo es un material distinto del agua, los agregados, el cemento hidráulico y las fibras de refuerzo, que se utiliza como ingrediente del mortero o del concreto, y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado.

La interpretación que puede darse a esta definición es que un material sólo puede considerarse como aditivo cuando se incorpora individualmente al concreto, es decir, que se puede ejercer control sobre su dosificación. De esta manera, las puzolanas y las escorias solamente son aditivos si se les maneja y administra por separado del cemento portland. Lo cual no deja de ser más bien una cuestión de forma, ya que cualitativamente sus efectos son los mismos que si se administran por conducto del cemento.

Para complementar la definición anterior, tal vez cabría añadir que los aditivos para concreto se utilizan con el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del concreto en estado fresco, y/o de inducir o mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto endurecido.

7.2. USOS DE LOS ADITIVOS

El comportamiento y las propiedades del concreto hidráulico, en sus estados fresco y endurecido, suelen ser influidos y modificados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos se relacionan esencialmente con las características los componentes y las cantidades en que éstos se proporcionan para laborar el concreto. En cuanto a los extrínsecos, pueden citarse principalmente las condiciones

ambientales que prevalecen durante la elaboración y colocación del concreto, las prácticas constructivas que se emplean en todo el proceso desde su elaboración hasta el curado, y las condiciones de exposición y servicio a que permanece sujeta la estructura durante su vida útil.

Algunos de estos factores pueden ser objeto de maniobra por parte del usuario del concreto, pero otros no. Por ejemplo, los aspectos relativos a la composición del concreto ya las prácticas constructivas son factores susceptibles de ajuste y adaptación, en tanto los que corresponden al medio ambiente ya las condiciones de exposición y servicio, por lo general son factores fuera del control del usuario.

De acuerdo con este planteamiento, para influir en el comportamiento y las propiedades del concreto, a fin de adaptarlos a las condiciones externas, se dispone principalmente de dos recursos:

- 1) La selección y uso de componentes idóneos en el concreto, combinados en proporciones convenientes.
- 2) El empleo de equipos, procedimientos, y prácticas constructivas en general, de eficacia comprobada y acordes con la obra que se construye.

El uso de aditivos queda comprendido dentro del primer recurso y normalmente representa una medida opcional, para cuando las otras medidas no alcanzan a producir los efectos requeridos, en función de las condiciones externas actuales o futuras. Es decir, la práctica recomendable para el uso de los aditivos en el concreto, consiste en considerarlos como un medio complementario y no como un sustituto de otras medidas primordiales, tales como el uso de un cemento apropiado, una mezcla de concreto bien diseñada, o prácticas constructivas satisfactorias.

Los aditivos suelen emplearse en la elaboración de concretos, morteros o mezclas de inyección, no sólo para modificar sus propiedades en los estados fresco y endurecido, sino también por economía, para ahorrar energía y porque hay casos en que el uso de un aditivo puede ser el único medio factible para obtener el resultado requerido, citando como ejemplos la defensa contra la congelación y el deshielo, el retardo o la aceleración en el tiempo de fraguado y la obtención de muy alta resistencia.

CAPITULO VII

CONCRETOS

8.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

Endurecimiento del concreto con la edad. La combinación del cemento con el agua de la mezcla se realiza lentamente lográndose hidratar a los 30 días en las mejores condiciones del laboratorio, sólo un poco más del 80% del cemento empleado.

En el transcurso del tiempo, el cemento continúa su proceso de hidratación tomando el agua necesaria del ambiente atmosférico, corriendo parejas con su propio endurecimiento y formando una curva asintótica a los valores más elevados de la fatiga de ruptura.

Los concretos fabricados con cemento Tipo m, Alta Resistencia Rápida, alcanzan a los 7 días la resistencia correspondiente a los 28 días del cemento Tipo I, pero a los dos años ambas resistencias son prácticamente iguales.

Se ha formado con valores medios obtenidos de la ruptura a la compresión de cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, fabricados y curados de acuerdo con la especificación A.S.T.M. c-192-49.

Cuando se efectúa la ruptura del cilindro a los 28 días de colado, la fatiga correspondiente a esa ruptura se representa por $f' "$ y constituye el valor base al cual se refieren las especificaciones.

8.3. PROPIEDADES Y USOS.

El cemento aluminoso se caracteriza por su rápido endurecimiento y su elevada resistencia a las 24 horas. Esto hace que su empleo nos economice madera y tiempo de entrega de las obras.

Por su gran resistencia a los agentes químicos, particularmente a las aguas de mar y sulfatadas, se le emplea en estos casos en lugar del cemento Portland normal. Por su insensibilidad a las bajas temperaturas, es muy empleado en los lugares fríos.

El fraguado de estos cementos se acelera con: Hidróxido de calcio, hidróxido sódico, carbonato sódico, etc., y se retarda con: cloruro sódico, cloruro potásico, cloruro bórico, etc.

La azúcar, adicionada en 1 %, es capaz de retrasar el fraguado un día o más. Su peso específico es 3.3 y su peso volumétrico varía entre 1 300 y 1 400 kg/m³.

Cementos puzolánicos. Los cementos puzolánicos se preparan moliendo juntos mezclas de Clinker de cemento.

La trabajabilidad debe ser juzgada con base en la medida del revenimiento, considerando las tolerancias señaladas anteriormente en el capítulo de Especificaciones.

Cuando se utilizan otras pruebas además de la del revenimiento para verificar los requerimientos de trabajabilidad, éstas deben ser establecidas de común acuerdo entre el comprador y el productor.

8.3.1. Peso unitario del concreto fresco

El volumen del concreto representado por la muestra debe ser considerado como satisfactorio si el cálculo arrojado, realizado con el valor del peso unitario determinado, brinda un valor con una aproximación del $\pm 2\%$.

8.3.2. Temperatura del concreto fresco

Se puede especificar, como medida opcional, la temperatura dentro de ciertos límites para condiciones especiales, y debe ser medida a través de una muestra representativa

Se considerará adecuado el volumen de concreto representado por la muestra si tiene una temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ del valor especificado.

8.4 TIPOS DE CONCRETOS

8.4.1. Concretos translucidos

El concreto translúcido es un hormigón polimérico, que incluye cemento, agregados y aditivos. Permite el paso de la luz y desarrolla características mecánicas superiores a las del hormigón tradicional. Este producto permite levantar paredes casi transparentes, más resistentes y menos pesadas que el cemento tradicional

La estructura de este hormigón permite hasta un 70% el paso de la luz, haciéndolo ideal para el ahorro de luz eléctrica y el uso de materiales de acabado como yeso y pintura logrando así una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las cualidades del hormigón translúcido son poder introducir objetos, luminarias e imágenes ya que tiene la virtud de ser translúcido hasta los dos metros de grosor, sin

distorsión evidente; alcanzar una resistencia de hasta 450 kg/cm²; al mezclarse se sustituye la grava y la arena por resinas y fibras; y ofrecer una consistencia impermeable junto con una mayor resistencia al fuego.

El hormigón traslúcido representa un avance en la construcción de plataformas marinas, presas, escolleras y taludes en zonas costeras, ya que bajo el agua sus componentes no se deterioran y es 30 por ciento más liviano que el hormigón convencional. Su fabricación es igual a la del hormigón común. Para ello se emplea cemento blanco, agregados finos, agregados gruesos, fibras, agua.

8.4.2. Concretos bombeables

Los concretos bombeables se hacen con ciertas características de flujo, necesario para ser bombeado un tubo a través del cual varía de 3 a 5 ½ pulgadas de diámetro.

Este gasoducto se inicia en una bomba de hormigón (donde el Camión hormigonera descarga) y se prolongará hasta el lugar de aplicación distancias horizontales de hasta 400 verticales mí hasta 160 m.

8.4.3. Concreto auto compactante (o líquido)

El concreto autocompactante, conocido como CAC, es una mezcla capaz de moverse por medio de los elementos que presenten complejidad y que no requiere consolidación, tarea que debe realizarse obligatoriamente en los concretos convencionales.

Este concreto es un poco más pastoso, viscoso, y tiene grado de cohesividad alto. Usualmente no se segrega y puede manejar estándares de asentamiento altos, siendo esta propiedad difícilmente medible mediante un ensayo convencional de asentamiento. Por esta razón los métodos para medir esta especificación cambian y se debe utilizar el método de flujo libre, también conocido como extensión, torta o flujo plástico.

En síntesis, el concreto autocompactante es una mezcla que tiene la capacidad de desplazarse en el interior de los encofrados, llenándolos de forma natural, rodeando las barras de la armadura, y consolidándose bajo la acción propia de su peso, sin ayudas mecánicas.

8.4.4. CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO

El hormigón de alto rendimiento (CAD) se dosifica para obtener alta resistencia y durabilidad.

El CAD tiene una resistencia superior a 40 MPa, que es extremadamente importante para las estructuras que necesitan estar constituida en piezas con dimensiones más

pequeñas. Además del aumento en la vida de las obras, este concreto puede proporcionar: desglosamiento más rápido, disminución de la cantidad de material utilizado y una mayor rapidez en la ejecución de la obra.

8.4.5. Concreto laminado

Se utiliza en la pavimentación urbana, como contrapiso de las grandes represas. Su bajo consumo cemento y baja capacidad de trabajo permiten la compresión por rodillos.

Su acabado no es tan bueno como el concreto utilizado en suelo industrial o carriles de pavimentación de aeropuertos y carreteras, por lo que se utiliza mejor como una sub-base.

8.4.6. Concreto para pavimentos rígidos

Además de aumentar la aplicación en las carreteras, su uso es decisivo en la renovación o construcción de pistas de aterrizaje, en los carriles bus y avenidas de las grandes ciudades.

Hay varias características que han hecho la opción de crecer por pavimento rígido, entre los que se incluyen: Resistencia, durabilidad, costos de mantenimiento más bajos, el ahorro de alumbrado público, disminuir el riesgo de accidentes, menor temperatura de la superficie, entre otros.

8.4.7. Concreto proyectado

El hormigón proyectado (o shotcrete) es un proceso por el cual el hormigón comprimido es proyectado a alta velocidad por medio de una manguera sobre una superficie, para conformar elementos estructurales y no estructurales en edificaciones. La mezcla que se utiliza para este tipo de hormigón es relativamente seca y se consolida por la fuerza del impacto, a la vez que desarrolla una fuerza de compresión similar al hormigón normal o al hormigón de alta resistencia dependiendo de la dosificación usada.

Son más o menos parecidas a las del hormigón clásico, notablemente en lo que respecta a la densidad aparente, a la resistencia a la compresión, a la tracción y al cizallamiento. En cambio, gracias a su estructura particular, el hormigón proyectado es más impermeable y más resistente a las heladas que un hormigón tradicional de la misma composición. Además, el hormigón proyectado presenta una característica notable: Se adhiere a la superficie de aplicación y permite obtener la forma de superficie deseada.

Generalmente se recomienda dosificar los materiales en peso. La curva composición deberá tener una granulometría que encaje en el huso granulométrico correspondiente, normalmente 0-8 ó 0-12. Así, como primera aproximación, la dosificación de cemento será de unos 400 kg/m³, pudiéndose rebajar si se emplea humo de sílice o acelerantes libres de álcali.

En el caso de la vía húmeda, la relación agua/cemento estará comprendida generalmente entre 0,40 y 0,50, función entre otros, de la variación del módulo de finura de los áridos y su naturaleza, con el fin de conseguir una consistencia adecuada para la máquina de proyección (cono entre 12 y 18). El límite superior no se deberá exceder para garantizar que la química de los acelerantes y superplastificantes, indispensable en esta aplicación, funcione adecuadamente.

La dosificación usual de los acelerantes de fraguado es del 4-5% del peso del cemento tanto en polvo como en líquido, salvo los acelerantes a base de silicato, ya en desuso, que tal y como se ha comentado anteriormente, necesitan dosificaciones del 10-12%. La dosificación de los superplastificantes y estabilizadores se establecerá mediante pruebas en la misma obra, y dependerá de los áridos, del cemento, y del tiempo de manejabilidad.

La adición a base de humo de sílice polvo se añadirá en una dosificación entre el 4-10%, y las cenizas volantes en un porcentaje no superior al 15-20%, según el tipo de cemento.

Siempre es necesario realizar ensayos previos en la misma obra con el fin de ajustar dosificaciones de áridos, cemento, agua, aditivos y adiciones de acuerdo con las condiciones existentes, para cumplir con los requisitos del Proyecto.

Para la preparación de la mezcla del hormigón, tanto en vía seca, como en vía húmeda, se recomienda emplear una planta con mezcladora, a ser posible de eje vertical, ya que las exigencias técnicas y las características de sostenimiento, obligan a una preparación y mezcla de los componentes homogénea, sobre todo con la incorporación de adiciones y aditivos, fundamentales en la tecnología del hormigón proyectado.

Muchas de las causas del mal funcionamiento de las máquinas de proyectar, son ocasionadas por una mezcla en plantas dosificadoras, sin mezcladora, o la incorporación de los aditivos y adiciones en el tajo de aplicación, sin un amasado adecuado.

Una “herramienta” tan utilizada en el sostenimiento de túneles y taludes, como es el hormigón proyectado, no depende de “milagros”, por el contrario, necesita instalaciones contrastadas y bien estudiadas, que permitan desarrollar una mezcla y transporte adecuados según las normas establecidas, para conseguir las características finales de dicho hormigón proyectado, y alcanzar los requerimientos solicitados por el proyectista.

El Shotcrete ha sido utilizado desde su invención en 1911, con éxito para una amplia variedad de usos en la edificación, tanto en edificaciones residenciales y obras civiles como:

Revestimiento de túneles, puentes, sistemas de contención y estabilización de taludes y túneles, silos de depósitos, piscinas, presas y canales, rehabilitación de estructuras en general, protección ignífuga para el acero, en superficies, horizontales, verticales o estructuras curvas.

Aunque su uso apenas se está conociendo mundialmente, ya lleva varias décadas de algunos países, con mucho éxito, ya que no necesita encofrados y las superficies sobre las que puede ser aplicado pueden ser uniformes o irregulares.

Modernos sistemas de construcción rápida de casas incorporan este método para un aislamiento climatológico, ignífugo e hidrófugo más eficaz, ya que el hormigón es proyectado sobre una armadura de acero que está ligada a un poli estireno, el hormigón al fraguar endurece y conforma una estructura estable y puede llevar cualquier tipo de acabado convencional.

Otro aspecto básico es el estudio de las características de los áridos; granulometrías, densidad, humedad, y coeficiente de absorción. Parámetros, todos ellos, fundamentales tanto en las fases iniciales de diseño de la mezcla, como en la fase de ejecución.

No olvidando nunca, que un sostenimiento de un túnel o talud tiene, además del fin constructivo, una responsabilidad en la seguridad de los equipos y dotaciones humanas que intervienen en la Obra.

8.4.8. Concreto prefabricado

Una estructura de hormigón prefabricado es aquel en el que elementos estructurales como columnas, vigas, losas y similares, son moldeados y adquieren un grado de resistencia antes de su posicionamiento en la estructura final.

Por esta razón, este conjunto de piezas es también conocido por el nombre de la estructura prefabricada.

8.4.9. Concreto pre tensado

Se denomina hormigón pretensado a la tipología de construcción de elementos estructurales de hormigón sometidos intencionadamente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio. Dichos esfuerzos se consiguen mediante cables de acero que son tensados y anclados al hormigón.

Esta técnica se emplea para superar la debilidad natural del hormigón frente a esfuerzos de tracción.

El objetivo es el aumento de la resistencia a tracción del hormigón, introduciendo un esfuerzo de compresión interno que contrarreste en parte el esfuerzo de tracción que producen las cargas de servicio en el elemento estructural.

El hormigón se vierte alrededor de tendones tensados. Este método produce un buen vínculo entre el tendón y el hormigón, el cual protege al tendón de la oxidación, y permite la transferencia directa de tensión. El hormigón o concreto fraguado se adhiere a las barras, y cuando la tensión se libera, es transferida hacia el hormigón en forma de

compresión por medio de la fricción. Sin embargo, se requieren fuertes puntos de anclaje exteriores entre los que el tendón se estira y los tendones están generalmente en una línea recta. Por lo tanto, la mayoría de elementos pretensados de esta forma son prefabricados en taller y deben ser transportados al lugar de construcción, lo que limita su tamaño. Elementos pretensados pueden ser elementos de balcones, losas de piso, vigas de fundación o pilotes.

8.4.10. Concretos fríos

Se trata de uno que tiene la temperatura reducida de lanzamiento mediante la adición de hielo a la mezcla, en sustitución total o dosificación parte de agua.

El hielo debe ser aplastado y puesto a disposición de la dosificación central en camiones refrigerados. Sólo debe ser colocado en camiones especiales para concreto, momentos antes de la carga.

Su incorporación tiene como objetivo principal la reducción de las tensiones térmica, mediante la reducción del calor de hidratación en primeras horas. Este procedimiento, además de evitar grietas, mantiene la trabajabilidad más tiempo y genera un mejor desarrollo de resistencia a la compresión.

El frío se utiliza con mayor frecuencia en las estructuras de hormigón de gran dimensiones, o presas, algunos tipos de fundaciones bases para las máquinas y los bloques con alto consumo de cemento

8.4.11. Concretos ligeros

Los hormigones son reconocidos por su bajo peso, aislamiento térmico específico y de alta resistencia acústica.

Mientras que el hormigón normal tiene una densidad variable entre 2300 y 2500 kg / m³, la luz a veces alcanzan densidades cerca de 500 kg / m³.

Los concretos ligeros son los más ampliamente utilizados en teléfonos celulares, sin la delgada y hecha con agregados de peso ligero, tales como poliestireno, vermiculita y arcilla expandida.

Sus aplicaciones se centran en tratar de cumplir con los requisitos algunos artículos específicos y también para el llenado losas, fabricación de bloques, la regularización de las superficies, recubrimientos en los tubos, entre otros.

8.4.12. Concreto celular

Está compuesto de arena, agua, cemento y espuma y tiene una densidad entre: 350 kg/m³ y 900 kg/m³, este tipo de productos es especial para rellenos fluidos, protecciones térmicas y acústicas sobre terrazas y bloques prefabricados divisorios.

- **Concreto Celular Aligerado:** el cual está compuesto de arena, agua, cemento y espuma y tiene una densidad entre 1100 kg/m³ y 1400 kg/m³, este tipo de productos es especial para: muros de carga, prefabricados en general y colados en sitio con fines estructurales.
- **Concreto Celular Aligerado Estructural:** el cual está compuesto de: arena, agua, cemento y espuma y tiene una densidad entre 1400 kg/m³ y 1800 kg/m³, este tipo de productos es especial para todo tipo de estructuras de carga, edificios, bodegas y demás estructuras convencionales.

Existen dos tipos o **sistemas de fabricación del concreto celular.**

- **Químicamente.** Consiste en añadir agentes químicos con el fin de buscar reacciones formadoras de hidrógeno en la mezcla de mortero o concreto, este principio es usado en plantas industrializadas de alta producción y básicamente consiste en adicionar; compuestos de aluminio, este reacciona con algunos componentes del cemento y forma hidrógeno el cual efervese en la masa cementante, el uso de este sistema está limitado a plantas de prefabricado y la fase de terminación, fraguado / curado; a base de autoclaves de alta o de baja presión con el fin de obtener un producto de calidad. La inversión para montar una planta de este tipo es considerable (Siporex/Hebel).
- **Aire Inyectado / Espuma Preformada.** Existen dos formas de inyectar el aire, una con aditivos especiales incorporadores de aire, los cuales se adicionan directamente a la mezcla, pero, debe tenerse mucho cuidado con la densidad, ya que esta puede fluctuar en rangos o parámetros muy amplios, su mayor uso es para rellenos sin importar la resistencia.

La otra forma de inyectar el aire es mediante aire a presión “incorporado /encapsulado” con ayuda de una máquina y de un aditivo, este sistema ofrece ventajas financieras, el costo de los equipos es relativamente económico; y; el proceso permite un mayor control gracias a la ayuda de mezclas exactas y resistencias controladas. Este sistema posee una fuerte contracción por secado, por lo que su curado es de especial cuidado.

8.4.13. Concretos con adición de fibra

Entre las adiciones se utilizan para mejorar ciertas características el hormigón, las fibras ha tenido un papel destacado en la reciente años, ha sido objeto de numerosos estudios y desarrollos.

Las fibras naturales o sintéticas se utilizan principalmente para reducir al mínimo la aparición de fisuras causadas por la contracción plástica del hormigón.

Las fibras de acero, y animan a la reducción de la fisuración tratar de conquistar el espacio en sustitución total o parcial de pantallas y barras de acero en algunas aplicaciones del hormigón.

CONCLUSIONES

1. La influencia que el cemento portland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante y del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del Clinker y de su finura de molienda.
2. La calidad del agua de mezclado influye en el comportamiento y las propiedades del concreto ya que representa entre el 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, por lo que cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.
3. En el proceso para definir y especificar el concreto potencialmente idóneo para cada aplicación en particular, es de trascendental importancia la definición del cemento apropiado, ya que de éste dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del concreto.
4. El grado de finura del cemento tiene efectos ambivalentes en el concreto. Al aumentar la finura el cemento se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez, y también se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta recién mezclada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto. Como contrapartida, una finura más alta representa mayor velocidad en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, cuyas consecuencias son indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos de los concretos y posibles agrietamientos en las estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

- <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/tipos-de-cementoportland.html>
- <http://www.arquicity.com/tipos-de-cemento.html>
- <http://blogs.elcomercio.pe/publicidadymkt/2008/10/no-vendemoscemento.html>
- <http://www.cementoandino.com.pe/>
- <http://www.cementoinca.com.pe/>
- <http://www.cementoslima.com.pe/>
- <http://www.construmatica.com/construpedia/Cemento>
- <http://www.ingenierocivilinfo.com/search/label/CEMENTO>
- <http://www.grupogloria.com/yuraCEMENTOSquienes.html>
- <http://commodities-eleman65.com/cemento.html>
- http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/cemento/industria/industria_peru_MGC12.PDF
- http://cdiserver.mbasil.edu.pe/mbapage/BoletinesElectronicos/BWiese/Reporte-sectorial/20050217_sec_es_cemento.pdf