



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN ARTESANAL
DEL CONCRETO EN OBRAS NORMALES DE LA
CIUDAD DE JULIACA**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER
SAMUEL CÁCERES QUENTA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

JULIACA - PERÚ
DICIEMBRE, 2017

DEDICATORIA:

El presente trabajo de investigación de Ingeniería para optar mi Grado de Título Profesional quisiera dedicarlos a mis padres, Carlos Cáceres Sucso y Victoria Quenta Chipana.

Y a mis hermanos Rolando Cáceres Quenta, Estela Cáceres Quenta, Dina Cáceres Quenta y a mi sobrino Isaac Edgar Arapa Cáceres que siempre me han dado ese apoyo moral.

AGRADECIMIENTO:

En primer lugar te agradezco a ti Dios por ayudarme a terminar este proyecto, así mismo también quiero agradecer a los Docentes de la “ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL” por abrirme las puertas para la investigación de este estudio y por ultimo agradecer a la “UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS” por haber sido mi casa de estudios durante estos años y darme la formación necesaria para enfrentar en el mundo en que vivimos.

A todos los amigos con quienes siempre es posible conversar sobre la ingeniería, esperando siempre mantenernos a la vanguardia del conocimiento.

A la Empresa CECAMS CONTRATISTAS GENERALES SRL por permitir desarrollar mis conocimientos en la ingeniería.

Y a mis grandes amigos Oblitas Tarazona Félix, Clever Velarde Yana, por su apoyo constante.

CON MUCHO CARIÑO Y AGRADECIMIENTO PARA
TODOS ELLOS

RESUMEN

La tecnología, empezando con la ciencia de los materiales, comprende todas las actividades soportadas por computadora, desde el análisis, pasando por la visualización, hasta la manufactura robotizada y todos los otros medios mecánicos sofisticados con que contamos actualmente en nuestras construcciones, estén situadas frente a las costas o mar adentro, abajo en el suelo o arriba en los edificios de gran altura. Sin lugar a dudas, el concreto es el material de nuestro tiempo. Satisface las demandas de los ingenieros y fabricantes modernos: puede adquirir libremente cualquier forma en la obra. el objetivo de este trabajo fue Establecer las características y particularidades que se toman en cuenta en la producción artesanal del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca. Metodológicamente el estudio se basó primeramente en la identificación de las variables de estudio y posterior a ello se establecieron características y particularidades en cuanto a los procesos de elaboración de los concretos en la ciudad de Juliaca. Los resultados demuestran que en la ciudad de Juliaca la resistencia a la compresión en la producción del concreto es descuidada; por lo general se emplea el 1: 3; que corresponde a cemento y hormigón, así mismo en lo que respecta a la colocación del concreto se ha verificado deficiencias sobre todo en la falta de compactación, lo que trae como consecuencia una mayor cantidad de aire atrapado y por ende una disminución de la resistencia a la compresión, por otro lado el proceso de diseño de mezclas del concreto deberá considerar todas las características de la zona donde se produce el concreto. En lo que se refiere al curado del concreto es deficiente en las construcciones efectuadas y en lo referente a la calidad de los concretos producidos en la ciudad no están expuestos a controles técnicos, ni tampoco se efectúa controles en la relación agua/cemento; incrementándose innecesariamente la cantidad de agua a fin de tener más tiempo para los acabados en el concreto.

Palabras clave: Concreto, obras normales, producción artesanal, resistencia a la compresión

ABSTRACT

Technology, starting with the science of materials, includes all activities supported by computer, from analysis, through visualization, to robotic manufacturing and all other sophisticated mechanical means that we currently have in our buildings, located in front of us. to the coasts or offshore, down on the ground or up in high-rise buildings. Undoubtedly, concrete is the material of our time. It satisfies the demands of modern engineers and manufacturers: it can freely acquire any form in the work. The objective of this work was to establish the characteristics and particularities that are taken into account in the artisanal production of concrete in normal works of the city of Juliaca. Methodologically, the study was based first on the identification of the variables of study and after that, characteristics and particularities were established regarding the processes of elaboration of the concrete in the city of Juliaca. The results show that in the city of Juliaca the resistance to compression in the production of concrete is neglected; usually 1: 3 is used; that corresponds to cement and concrete, likewise in regard to the placement of concrete has been verified deficiencies especially in the lack of compaction, which results in a greater amount of trapped air and therefore a decrease in the resistance to The compression, on the other hand, the design process of concrete mixtures should consider all the characteristics of the area where the concrete is produced. As regards the curing of the concrete, it is deficient in the constructions carried out and as regards the quality of the concrete produced in the city, they are not exposed to technical controls, nor are controls carried out in the water / cement ratio; unnecessarily increasing the amount of water in order to have more time for the finishes in the concrete.

Keywords: Concrete, normal works, handicraft production, resistance to compression

INTRODUCCIÓN

La tecnología, empezando con la ciencia de los materiales, comprende todas las actividades soportadas por computadora, desde el análisis, pasando por la visualización, hasta la manufactura robotizada y todos los otros medios mecánicos sofisticados con que contamos actualmente en nuestras construcciones, estén situadas frente a las costas o mar adentro, abajo en el suelo o arriba en los edificios de gran altura.

Sin lugar a dudas, el concreto es el material de nuestro tiempo. Satisface las demandas de los ingenieros y fabricantes modernos: puede adquirir libremente cualquier forma en la obra.

En los mecanismos de producción de concreto en el departamento de Puno, se aprecia deficiencias significativas; en todas las etapas de la trabajabilidad, endurecimiento y desarrollo de la resistencia a la compresión.

Por otro lado la resistencia del concreto depende de la cohesión de la pasta de cemento, su adhesión a las partículas de los agregados y, en cierto grado de la resistencia del agregado mismo.

De lo mencionado anteriormente es necesario establecer las acciones que deterioran la calidad del concreto; y para ser corregida es que; se plantea el presente trabajo de investigación titulado: **ESTUDIO DE LA PRODUCCION ARTESANAL DEL CONCRETO EN OBRAS NORMALES DE LA CIUDAD DE JULIACA**; en cuyo contenido se analizará la significación de las acciones negativas que van en contra de la calidad de un buen concreto y como minimizarla.

INDICE

Dedicatoria.....	I
Agradecimiento	II
Resumen	III
Abstract.....	IV
Introducción	V
Índice	VI

CAPÍTULO 1: Planteamiento del problema

1.1 Análisis del problema	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 problema general	1
1.2.2 problemas específicos	1
1.3 Justificación del problema	2
1.4 Formulación de objetivos	2
1.4.1 Objetivo principal	2
1.4.2 Objetivos específicos	3

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Características de los componentes del concreto.....	4
.....	4
2.1.1 El cemento pòrtland	4
2.1.2 Fabricación del cemento portland	7
2.1.3 Composición del cemento portland.	8
2.1.4 Mecanismo de hidratación del cemento.	9
2.1.5 El agua en el concreto.	11
2.1.6 El agua de mezcla y para el curado	12
2.1.7 Los agregados y clasificación	13
2.1.8 Características de los agregados.	14

2.2 Propiedades del concreto.....	20
2.2.1 Propiedades del concreto fresco.....	21
2.2.2 Propiedades del concreto endurecido.....	24
2.2.3 Ensayos de resistencia en la producción del concreto.....	25
2.3 Calidad del concreto.....	28
2.3.1 Producción del concreto.....	29
2.3.2 Colocación del concreto.....	35
2.3.3 Control de temperatura.....	41
2.4 Fraguado y endurecimiento del concreto.....	43
2.4.1 Etapas del proceso del fraguado y endurecimiento.....	45
2.4.2 Evolución del fraguado.....	46
2.4.3 Evolución del endurecimiento.....	49
2.4.4 Medios para modificar el fraguado y el endurecimiento.....	52
2.5 Durabilidad del concreto.....	54
2.5.1 factores que afectan la durabilidad del concreto.....	56
2.5.2 factores que afectan la resistencia a la abrasión.....	59
2.5.3 recomendaciones para el control de la abrasión.....	60

Capítulo 3: APLICACIÓN DEL ESTUDIO DE LA PRODUCCION ARTESANAL DEL CONCRETO EN OBRAS NORMALES DE LA CIUDAD DE JULIACA.

3.1 Calidad de los componentes del concreto.....	65
3.2 Diseño de mezclas.....	66
3.3 Producción y colocación del concreto.....	68
3.4 Curado del concreto.....	69
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	75

CAPÍTULO 1:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANALISIS DEL PROBLEMA

El índice de resistencia más común en el caso del concreto es el obtenido del ensayo de especímenes a compresión simple.

El índice mencionado anteriormente evalúa la resistencia del concreto tal como es producido. Comúnmente se considera este índice como indicativo de la resistencia del concreto en la estructura.

Por otro lado la resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puente, de edificios y otras estructuras.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2.1 Problema general.

¿Cuáles son las características y particularidades que se toman en cuenta en la producción artesanal del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca?

1.2.2 Problemas específicos.

PROBLEMA ESPECIFICO 1.

¿Cuáles son las características de la calidad de los componentes de la producción artesanal del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca?

PROBLEMA ESPECIFICO 2.

¿Cuál es el mecanismo del diseño de mezclas en la producción artesanal del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca?

PROBLEMA ESPECIFICO 3.

¿Cuáles son las características en la producción y colocación del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca?

PROBLEMA ESPECIFICO 4.

¿Cuáles son las características empleadas en el curado del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca?

1.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua - Cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado esta completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

1.4. FORMULACION DE OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general.

Establecer las características y particularidades que se toman en cuenta en la producción artesanal del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca.

1.4.2 Objetivos específicos.

OBJETIVO ESPECIFICO 1.

Determinar las características de la calidad de los componentes de la producción artesanal del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca.

OBJETIVO ESPECIFICO 2.

Determinar el mecanismo del diseño de mezclas en la producción artesanal del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca.

OBJETIVO ESPECIFICO 3.

Determinar las características en la producción y colocación del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca.

OBJETIVO ESPECIFICO 4.

Determinar las características empleadas en el curado del concreto en obras normales de la ciudad de Juliaca.

CAPÍTULO 2:

MARCO TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción.

En consecuencia, para poder dominar el uso de este material, hay que conocer no sólo las manifestaciones del producto resultante, sino también la de los componentes y su interrelación, ya que son en primera instancia los que le confieren su particularidad.

Como cualquier material, se contrae al bajar la temperatura, se dilata si ésta aumenta, se ve afectado por sustancias agresivas y se rompe si es sometido a esfuerzos que superan sus posibilidades, por lo que responde perfectamente a las leyes físicas y químicas.¹

2.1.1 El cemento pórtland

Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes.

El nombre de Pórtland proviene de la similitud en apariencia y el efecto publicitario que pretendió darle en el año 1824 Joseph Apsdin un constructor inglés, al patentar un proceso de calcinación de caliza arcillosa

¹Enrique Pasquel Carbajal. (1995). Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, editado Lima. Perú. Pág. 17.

que producía un cemento que al hidratarse adquiriría según él. La misma resistencia que la piedra de la isla de Pórtland cerca del puerto de Dorset.

Hasta hace un tiempo atrás en la fábrica de cemento Rumi (Juliaca) se comercializaba los diferentes tipos de cemento; desde el Pórtland tipo I hasta el Pórtland tipo V; y el de mayor comercialización fue el de tipo I.

Actualmente el cemento que comercializa la fábrica de Cemento Rumi, es el cemento Puzolánico tipo IP, y el tipo T, ambos compatibles a las normas internacionales ASTM.

Las características más marcadas de ambos tipos son:

CEMENTO PÓRTLAND TIPO I

- Ofrece un endurecimiento controlado.
- Se logran altas resistencias a temprana edad.
- Es versátil para muchos usos.
- A partir de este cemento, se logran otros tipos de cemento.

CEMENTO PUZOLANICO TIPO IP

- Es altamente resistente a la tracción y fisuración.
- La resistencia a la compresión es ligeramente baja a temprana edad (3 primeros días)
- Desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica.
- La permeabilidad se reduce notablemente; hace que el fierro interno se conoce mejor.
- Altamente resistente a la acción de sulfatos; evita el ataque del salitre.
- Reduce la exposición ácido – álcali.

- Mejora la trabajabilidad.

USOS Y APLICACIONES DE LOS CEMENTOS TIPO I Y CEMENTO PUZOLANICO IP

CEMENTO PÓRTLAND TIPO I

- En la construcción de edificaciones de mediana y gran envergadura.
- Fabricaciones pre tensionadas.
- Cuando se requiere acelerar el desencofrado o se necesita poner las obras en servicio en poco tiempo.
- En obras importantes con lesiones medias o fuertes.}Hormigones aligerados.
- Hormigones densos y normales.
- Prefabricados de hormigón.
- Mortero para el asentado de ladrillos y otros materiales.

PUZOLANICO IP

- Macizos de hormigón en grandes masas.
- Para cimentaciones en todo terreno.
- Obras marítimas.
- Obras sanitarias.
- Albañilería.
- Sellados.
- Baldosines hidráulicas.

- Prefabricados curados por tratamiento térmico.
- Canales donde circula agua con residuos ácidos.

2.1.2 Fabricación del cemento portland.

CUADRO N° 01:

COMPONENTE QUIMICO	PROCEDENCIA
--------------------	-------------

95%	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Oxido de Sílice (Si O ₂)	Areniscas
	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita

5%	Óxidos de Magnesio, Sodio.	Minerales Varios
	Potasio, Titanio, Azufre.	
	Fósforo y Manganeso	

Los porcentajes típicos en que intervienen en el cemento Portland los óxidos mencionados son:

Oxido Compón.	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	61% -67%	C
SiO ₂	20% -27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1 % - 3%	
MgO	1 % .. 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0.25% -1.5%	

Fuente: Componentes químicos del Cemento Fábrica de cemento RUMI

2.1.3 Composición del cemento portland.

- a) **Silicato Tricálcico:** Define la resistencia inicial (en la primera semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.
- b) **Silicato Dicálcico:** Define la resistencia a largo plazo y tiene incidencia menor en el calor de hidratación.
- c) **Aluminato Tricálcico:** Aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso (3% - 6%) para controlarlo.

Es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce Sulfoaluminatos con propiedades expansivas por lo que hay que limitar su contenido.

- d) **Alumino-Ferrito Tetracálcico:** Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- e) **Oxido de Magnesio:** Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.
- f) **Óxidos de Potasio y Sodio:** Tienen importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos.
- g) **Óxidos de Manganeso y Titanio:** El primero no tiene significación especial en las propiedades del cemento, salvo en su coloración, que tiende a ser marrón si se tienen contenidos mayores del 3%. Se ha observado, que en casos donde los contenidos superan el 5%

2.1.4 Mecanismo de hidratación del cemento.

Se denomina hidratación al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados.

a) PLÁSTICO.

Unión del agua y el polvo de cemento formando una pasta moldeable. Cuanto menor es la relación Agua/Cemento, mayor es la concentración de partículas de cemento en la pasta compactada y por ende la estructura de los productos de hidratación es mucho más resistente.

b) FRAGUADO INICIAL

Condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de la plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse. Es la etapa en que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el ya

mencionado calor de hidratación, que es consecuencia de las reacciones químicas descritas.

c) FRAGUADO FINAL

Se obtiene al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus' partículas endurecidas.

d) ENDURECIMIENTO.

Se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantienen e incrementan con el tiempo las características resistentes. La reacción predominante es la hidratación permanente de los silicatos de calcio, y en teoría continúa de manera indefinida.²

CONDICIONES DE CONTROL Y ALMACENAJE EN OBRA Y SUS CONSECUENCIAS.

En cuanto a las condiciones de almacenaje, es recomendable limpiar con frecuencia los silos metálicos de depósito sobre todo en climas de humedad relativa alta, pues se produce hidratación parcial del cemento adherido a las paredes, y que con el uso del silo ocasiona que se desprendan trozos endurecidos y se mezclen con el cemento fresco causando problemas en la uniformidad de la producción del concreto. En el caso de cemento en bolsas el concepto es similar en cuanto a protegerlas de la humedad, bien sea aislándolas del suelo o protegiéndolas en ambientes cerrados.

Si recordamos los conceptos referidos al mecanismo de hidratación podemos estimar que si usamos cemento parcialmente hidratado, estaremos sustituyendo en la práctica una parte del agregado por cemento endurecido con características resistentes inciertas y

² CFE. (1994) Manual de Tecnología del Concreto Sección 2, LIMUSA, Noriega Editores. México. Pág 207.

definitivamente inferiores a la de la arena y la piedra, que causará zonas de estructura débil, cuya trascendencia será mayor cuanto mayor sea la proporción de estas partículas.

2.1.5 El agua en el concreto.

Ya hemos visto que el agua es el elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto este componente debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química, sin ocasionar problemas colaterales si tiene ciertas sustancias que pueden dañar al concreto.³

Las normas correspondientes ASTM C – 109 establecen que el agua para la preparación y curado del concreto deberá cumplir con ciertos requisitos y de preferencia ser potables.

Las aguas naturales no potables se utilizaran en la producción del concreto, con previa autorización de la inspección, cumpliendo ciertas formalidades como:

- Estén limpias y libres de cantidades perjudiciales de ácidos, álcalis, sales, materia orgánica, etc. que puedan dañar al cemento.

En caso de obras de concreto que se ejecuten fuera de las áreas de los sistemas de agua potable; considerando la envergadura se deberá efectuar necesariamente los siguientes ensayos:

- Análisis Químico.
- Ensayo de Resistencia.
- Ensayo de Fraguado.

Los componentes químicos del cemento pueden reaccionar con el agua de dos formas distintas.

³Enrique Pasquel Carbajal. (1995). Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, editado Lima. Perú. Pág. 52.

- En la primera, se produce una adición directa de algunas moléculas de agua, lo cual constituye una reacción de hidratación real.
- El segundo tipo de reacción con agua es la hidrólisis.

2.1.6 El agua de mezcla y para el curado

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- a) Reaccionar con el cemento para hidratarlo,
- b) Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- c) Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

EL AGUA PARA CURADO.

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y por otro lado en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto.

Una precaución en relación al curado con agua en obra empleando el método usual de las "arroceras", es decir creando estancamiento de agua colocando arena ó tierra en los bordes del elemento horizontal,

El agua de lavado de mixers o mezcladoras, puede emplearse normalmente sin problemas en el curado del concreto, siempre que no tengan muchos sólidos en suspensión.

2.1.7 Los agregados y clasificación.

Se define los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente.

Ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total, luego la calidad de estos tienen una importancia primordial en el producto final.

Están continuados usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos, y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto.

CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO.

a) Por su procedencia.

Se clasifican en:

Agregados naturales.

Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años. y que son extraídos seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto.

Agregados Artificiales.

Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto.

b) Por su gradación

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas que como ya hemos mencionado tiene suma importancia en el concreto. Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4.75 mm (Malla Standard ASTM # 4).

Esta clasificación responde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamientos de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a separarse en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso en su procesamiento y empleo.

b) Por su densidad.

Entendiendo densidad como la Gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en normales con $G_e = 2.5$ a 2.75 , ligeros con $G_e < 2.5$ y pesados con $G_e > 2.75$. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso.

2.1.8 Características de los agregados.**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.**

En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad, y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación.

Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas standard que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas.

Es importante para evaluar estos requerimientos el tener claros los conceptos relativos a las siguientes características físicas de los agregados y sus expresiones numéricas:

- a) Condiciones de Saturación.
- b) Peso específico.
- c) Peso unitario.
- d) Porcentaje de Vacíos.
- e) Absorción.
- f) Porosidad.
- g) Humedad.

CARACTERÍSTICAS RESISTENTES.

Están constituidas por aquellas propiedades que le confieren la capacidad de soportar esfuerzos ó tensiones producidos por agentes externos.

Las principales son:

a) Resistencia.

Capacidad de asimilar la aplicación de fuerzas de compresión, corte, tracción y flexión. Normalmente se mide por medio de la resistencia en compresión, para lo cual se necesita ensayar testigos cilíndricos o cúbicos de tamaño adecuado al equipo de ensayo, que se perforan o cortan de una muestra lo suficientemente grande.

La resistencia en compresión está inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico.

Agregados normales con Peso específico entre 2.5 a 2.7, tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 200 Kg/cm². Los agregados ligeros con Peso específico entre 1.6 a 2.5 usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 Kg/cm².

La resistencia del agregado condiciona en gran medida la resistencia del concreto, por lo que es fundamental el evaluarla directa o indirectamente cuando se desea optimizar la calidad de los concretos.

b) Tenacidad.

Se denomina así en general a la resistencia al impacto. Está más relacionada con la sollicitación en flexión que en compresión, así como con la angularidad y aspereza de la superficie.

Tiene trascendencia en las propiedades del concreto ante impactos, que son importantes en términos prácticos, al momento de evaluar las dificultades en el procesamiento por chancado del material. Su estimación es más cualitativa que cuantitativa.

a) Dureza.

Es la resistencia al desgaste por la acción de unas partículas sobre otras o por agentes externos.

En los agregados para concreto se cuantifica por medio de la resistencia a la abrasión en la Máquina de Los Angeles.

PROPIEDADES TERMICAS.

Condicionan el comportamiento de los agregados ante el efecto de los cambios de temperatura. Estas propiedades tienen importancia básica en el concreto pues el calor de hidratación generado por el cemento, además de los cambios térmicos ambientales actúan sobre los agregados provocando dilataciones expansiones retención o disipación de calor según sea el caso.

Las propiedades térmicas están afectadas por la condición de humedad de los agregados así como por la porosidad, por lo que sus valores son bastante variables.

Las principales son:

a) Coeficiente de expansión.

Cuantifica la capacidad de aumento de dimensiones de los agregados en función de la temperatura. Depende mucho de la composición y estructura interna de las rocas y varía significativamente entre los diversos tipos de roca.

b) Calor específico.

Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en 1 °C la temperatura. No varía mucho en los diversos tipos de rocas salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos. Es del orden de 0.18 Cal/gr.°c.

e) Conductividad Térmica.

Es la mayor o menor facilidad para conducir el calor. Está influenciada básicamente por la porosidad siendo su rango de variación

relativamente estrecho. Los valores usuales en los agregados son de 1.1 a 2.7 Btu/pie.hr.°F.

d) Difusividad.

Representa la velocidad con que se pueden producir cambios térmicos dentro de una masa. Se expresa como el cociente de dividir la conductividad entre el producto del calor específico por la densidad.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

Los agregados, también llamados inertes, son en general sumamente resistentes al ataque de agentes químicos, siendo importante establecer que cualquier agresión de este tipo debe ser en forma de solución para que tenga la posibilidad de surtir algún efecto.

Existe una forma de ataque químico sobre los agregados, que es la más importante desde el punto de vista de sus consecuencias en la durabilidad del concreto y que es producida por la reacción de ciertos agregados con los álcalis del cemento produciendo compuestos expansivos.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y MORFOLOGICAS.

La forma y textura de las partículas de agregados influyen grandemente en los resultados a obtenerse en las propiedades del concreto. Por un lado existe un efecto de anclaje mecánico que resulta más o menos favorable en relación con el tamaño, la forma, la textura superficial y el acomodo entre ellas.

Por otro se producen fenómenos de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, condicionados también por estos factores, que redundan en el comportamiento resistente y en la durabilidad del concreto.

a) Forma.

Por naturaleza los agregados tienen una forma irregularmente geométrica compuesta por combinaciones aleatorias de caras redondeadas y angularidades.

La redondez o angularidad se puede definir numéricamente como la relación entre el radio de curvatura promedio de los bordes de la partícula entre el radio del máximo círculo inscrito.

En términos meramente descriptivos, la forma de los agregados se define en:

- 1) Angula: Poca evidencia de desgaste en cara y bordes.
- 2) Subangular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- 3) Subredondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.
- 4) Redondeada: Bordos casi eliminados.
- 5) Muy redondeada: Sin caras ni bordes.

La esfericidad resultante de agregados procesados, depende mucho del tipo de equipo de chancado y la manera como se opera. La redondez está más en función de la dureza y resistencia al desgaste por abrasión.

b) Textura.

Representa qué tan lisa o rugosa es la superficie del agregado. Es una característica ligada a la absorción pues agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos, además que producen concretos menos plásticos pues se incrementa la fricción entre partículas dificultando el desplazamiento de la masa

ÁNÁLISIS GRANULOMETRICO.

Tomando en cuenta lo que ya hemos hablado sobre la forma irregularmente geométrica de las partículas de agregados, es obvio que no es simple establecer un criterio numérico individual para definir el tamaño de cada partícula midiendo sus dimensiones.

Como sería sumamente difícil medir el volumen de los diferentes tamaños de partículas, se usa una manera indirecta, cual es tamizarlas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos refiriéndolos en % con respecto al peso total.

A esto es lo que se denomina análisis granulométrico o granulometría, que es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

EL MODULO DE FINEZA.

En la búsqueda de caracterizaciones numéricas que representaran la distribución volumétrica de las partículas de agregados, se definió hace muchos años el Módulo de Fineza.

LA SUPERFICIE ESPECÍFICA.

Es otra caracterización numérica de la granulometría de agregados, que si bien no es tan práctica en su aplicación. Es importante desde el punto de vista que permite comprender conceptualmente varias relaciones y propiedades entre los agregados y la pasta de cemento.

Se define como el área superficial total de las partículas de agregados, referida al peso o al volumen absoluto.

Se asume generalmente para fines de cálculo y simplificación que todas las partículas son de forma esférica, lo cual ya introduce error, además que no tiene el sustento experimental del módulo de fineza, por lo que no se usa mucho salvo a nivel de investigación.

2.2 Propiedades del concreto

Se aprecia el esquema típico de la estructura interna del concreto endurecido que consiste en el aglomerante, estructura básica o matriz, constituida por la pasta de cemento y agua que aglutina a los agregados gruesos, finos, aire y vacíos, estableciendo un comportamiento resistente debido en gran parte a la capacidad de la pasta para adherirse a los agregados y soportar esfuerzos de tracción y compresión, así como a un efecto puramente mecánico propiciado por el acomodo de las partículas inertes y sus características propias.

Una conclusión inmediata que se desprende del esquema mencionado, es que la estructura del concreto no es homogénea, y en consecuencia

no es isotrópica, es decir no mantiene las mismas propiedades en diferentes direcciones.

Esto se debe principalmente a los diferentes materiales que intervienen, su variabilidad individual así como al proceso mismo de elaboración, en que durante la etapa en que la pasta es plástica, se posibilita el acomodo aleatorio de los diferentes componentes hasta su ubicación definitiva al endurecer.

Un aspecto sumamente importante en la estructura del concreto endurecido reside en la porosidad o sistema de vacíos. Gran parte del agua que interviene en la mezcla, sólo cumple la función de lubricante en el estado plástico ubicándose en líneas de flujo y zonas de sedimentación de los sólidos" de manera que al producirse el endurecimiento y evaporarse quedan los vacíos o poros, que condicionan el comportamiento posterior del concreto para absorber líquidos y su permeabilidad o capacidad de flujo a través de él.

2.2.1 Propiedades del concreto fresco.

a) Trabajabilidad.

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede. Ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian.

Está influenciada principalmente por la pasta el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa. Por lo general un concreto es trabajable en la mayoría de circunstancias, cuando durante su desplazamiento

mantiene siempre una película de mortero de al menos 1/4" sobre el agregado grueso.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el "Slump" o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo.

1) Estabilidad.

Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la; aplicación de fuerzas externas. Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluadas con métodos standard que permiten comparar dichas características entre varios diseños siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos.

2) Compactabilidad.

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado "Factor de compactación", que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado.

3) Movilidad.

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación de trabajo externo. Se evalúa en función a la viscosidad, cohesión o resistencia interna al corte.

La viscosidad viene dada por la fricción entre las capas de la pasta de cemento, la cohesión es la fuerza de adherencia entre la pasta de

cemento y los agregados, y la resistencia interna del corte la provee de habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta.

b) Segregación.

Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los concretos con contenidos de piedra del 55% en peso con respecto al peso total de agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado que no deben diferir en más del 6%.

c) Exudación.

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto.

Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor

es el porcentaje de material menor que la malla No 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto pues es una propiedad inherente a su estructura luego lo importante es evaluada y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener.

d) Contracción.

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia.

Ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química. y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla.

2.2.2 Propiedades del concreto endurecido.

a) Elasticidad.

En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs. Deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "Módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última.

b) Resistencia.

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso.

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

c) Extensibilidad.

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran figuraciones.

Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo.

El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable., estando relacionado también con la contracción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes.

La microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, ya una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria.

2.2.3 Ensayos de resistencia en la producción del concreto

Debe tenerse en cuenta siempre que frecuentemente se da demasiada importancia al valor de la resistencia a la compresión de un espécimen de concreto. Si no se posee la debida perspectiva, se puede llegar a pensar erróneamente que la resistencia a la compresión de un espécimen de concreto representa la resistencia del concreto en la estructura ante cualquier combinación de sollicitaciones.

No existe una convención aceptada universalmente sobre qué tipo de espécimen es el mejor para realizar ensayos en compresión. Por lo común se usan especímenes de tres tipos: cilindros, cubos y prismas.

En nuestro medio, y en numerosos países del mundo, se usan cilindros con una relación de esbeltez igual a dos. En estructuras de concreto reforzado, el espécimen usual es el cilindro de 15 X 30 cm. En estructuras construidas con concreto en masa, donde se emplean agregados de gran tamaño (10 a 15 cm.), se usan cilindros de 30 X 60 cm. o de 60 X 120 cm. Generalmente, las resistencias se determinan a los 28 días de edad del concreto o a la edad en que el concreto vaya a recibir su carga de servicio. Recientemente se han propuesto diversos procedimientos para obtener índices de resistencia a edades más tempranas con el fin de poder tomar medidas correctivas con mayor oportunidad, en caso necesario.

En muchos países de Europa se usan cubos para obtener un índice de resistencia del concreto a la compresión. Las dimensiones de los cubos varían entre 10 Y 30 cm. de lado, según los países. Algunas veces se utilizan también prismas de concreto simple, ensayados con la dirección de la carga paralela al eje longitudinal del prisma.

Tanto cilindros como cubos y prismas tienen ventajas y desventajas, pero la tendencia actual parece inclinarse hacia el uso del cilindro. Para lograr una prueba a la compresión aceptable, es necesario que las cabezas de la máquina de ensaye estén totalmente en contacto con las superficies del espécimen en ambos extremos, de manera que la presión ejercida sea lo más uniforme posible. Esto se logra fácilmente si el espécimen es un cubo

o un prisma y se ha fabricado en un molde de acero con las caras pulidas y a escuadra. Las caras del espécimen que están en contacto con las del molde son suficientemente planas para lograr una distribución satisfactoria de compresiones, sin necesidad de ningún artificio adicional. Otra ventaja del uso de cubos y prismas es su facilidad de almacenamiento, problema que llega a ser importante cuando el número de especímenes es muy grande.

Por otra parte, los cilindros se fabrican por lo general en moldes de acero apoyados en una placa en su cara inferior, y libres en su parte superior, donde es necesario dar un acabado manualmente. Este queda con frecuencia demasiado rugoso para que pueda apoyarse directamente la cabeza de la máquina de ensaye. Salvo en casos en que se ha tenido mucho cuidado y se ha alisado el extremo del concreto fresco con una placa de acero, o bien se ha pulido la superficie rugosa, es necesario dar una preparación a los extremos del cilindro para poder asegurar que la presión queda uniformemente distribuida y que la dirección de carga es paralela al eje del cilindro.

Esta operación, llamada cabeceado y que consiste en aplicar un cierto material, generalmente azufre o pasta de cemento, a los extremos del cilindro para producir una superficie lisa de apoyo, prolonga el tiempo necesario para la preparación del ensaye e introduce una variable adicional en los resultados: el material y la forma del cabeceado.

Debido a la simetría del espécimen con respecto a cualquier plano diametral, si el contacto entre la máquina y el cilindro es adecuado, la distribución de compresiones en la sección transversal de un cilindro es más uniforme que en la sección transversal de un cubo o de un prisma. Además, estos últimos se ensayan con la dirección de la carga perpendicular a la dirección del colado, lo que algunos autores consideran que es poco representativo del trabajo del concreto en columnas en una estructura real.

Otra ventaja importante de los cilindros sobre los cubos es la disminución del efecto de confinamiento y de la restricción al desplazamiento lateral debida a la fricción de los extremos contra la máquina. Por su mayor relación de esbeltez, estos efectos son mucho menor que en los cubos, ya que las secciones medias del cilindro están menos afectadas por las condiciones en los extremos.

Aun cuando las especificaciones se sigan cuidadosamente y el proceso se realice por operadores experimentados, los resultados que se obtengan no serán uniformes. Siempre existirá dispersión en los datos, como en cualquier proceso de medición. Estas dispersiones pueden ser inherentes al tipo de ensaye, por errores accidentales o porque no hubo uniformidad en el material ensayado.

Las condiciones del curado influyen en forma importante en la resistencia aparente a la compresión de un espécimen de control. El proceso de curado está especificado en las normas. Sin embargo, según sea el propósito del índice de resistencia, se pueden aplicar condiciones distintas de curado. En general, son válidos dos criterios.

En el primero, empleado para comparar distintos concretos a lo largo del tiempo, por un número determinado de días se especifica un curado de laboratorio en un cuarto húmedo en que la temperatura y la humedad se mantienen dentro de ciertos límites. Pero si se quiere tener idea de la resistencia a la compresión del concreto tal y como está expuesto en la estructura, se someten los especímenes al mismo tipo de curado y ambiente al que está expuesta la estructura.

2.3 Calidad del concreto.

Controlar la calidad de un producto consiste en general en evaluar ciertos criterios y parámetros técnicos antes, durante y después del proceso productivo, para garantizar que el resultado final satisfaga los requerimientos esperados. En un proceso de tipo fabril, la mayoría de factores que intervienen se pueden limitar, regular, uniformizar y medir, lo que facilita enormemente dicho control y sus resultados.

En el caso del proceso constructivo con concreto, el panorama es bastante más complejo pues normalmente no se tiene la posibilidad de limitar factores como son el medio ambiente, la variabilidad de los materiales como el agua, cemento, agregados y aditivos, y la diversidad de equipos, técnicas constructivas y mano de obra. Esto redundaría en que el control de calidad de este material revista características muy particulares

Es una creencia, generalizada que los factores de seguridad que aplican los diseñadores de estructuras de concreto cubren las dispersiones anotadas, pero esto sólo es cierto si se cumplen estrictamente los requisitos de calidad establecidos para cada caso particular y el control se realiza de acuerdo a criterios estandarizados, ya que de otra manera se viene abajo todo el fundamento estadístico que avala los factores de seguridad aludidos.

Muchas veces la frase tan corriente de que "el concreto es un material muy noble" pareciera como que se nos habilita a restar importancia al hecho de que cualquier persona puede hacer concreto, pero no cualquiera está capacitado para diseñar, controlar y producir concreto de buena calidad que cumpla fielmente con las premisas establecidas por las condiciones de diseño. Por otro lado la idea de suplir esto "añadiendo más cemento" desmerece los principios de profesionalismo si lo hace un Ingeniero y contribuye a incrementar la informalidad, si lo hace un empírico, con resultados sumamente dudosos y negativos en ambos casos, que a la larga el tiempo se encarga de revelar.

En este punto, es necesario establecer que el concreto de buena calidad es que satisface eficientemente los requisitos de trabajabilidad, colocación, compactación, resistencia, durabilidad y economía, que nos exige cada proyecto en particular, luego pues involucra todos los aspectos del proceso.

Dentro de este contexto, una premisa básica es aquella de que "no se puede controlar aquello que se desconoce y para lo que uno no se a

entrenado". La acumulación a nivel mundial de casi un siglo de conocimientos sobre el concreto y sus componentes y la investigación continua en este campo permite en actualidad contar con todos los avances de la tecnología moderna para entender y explicar los fenómenos asociados con el comportamiento del concreto y los métodos desarrollados para evaluar y controlar la calidad del mismo, por lo que es necesario insistir en el estudio y actualización permanente en estos temas para efectuar una labor eficiente.

2.3.1 Producción del concreto.

CONCEPTOS ESTADISTICOS BASICOS PARA EVALUAR RESULTADOS DE PRUEBAS STANDARD DE CONTROL DE CALIDAD DE CONCRETO.

El ASTM establecido para cada norma standard varios criterios estadísticos que sirven para conocer los alcances de las pruebas y la confiabilidad en la interpretación de los resultados y que están basados en el análisis de muchos datos recopilados durante años de investigación. En los casos que aún no existen estos parámetros se indica explícitamente en la norma.

Dichos conceptos se definen a continuación en forma sucinta:

Precisión.- Indica la cercanía de coincidencia entre los resultados obtenidos al aplicar una prueba standard.

Bías.- Representa una diferencia sistemática entre un grupo de resultados de una prueba standard y un valor referencial aceptado que caracteriza a dicha prueba. Por lo general representa la influencia de factores como la diferencia sistemática entre dos operadores, dos sitios diferentes para la ejecución de la prueba, dos ocasiones diferentes etc.

Exactitud.- Es la proximidad de coincidencia entre uno o más promedios de resultados de una cierta prueba standard y un valor referencial aceptado que caracteriza a dicha prueba.

Límite 1S (One sigma limit).- Es la desviación, estándar de toda población.

Límite 1S% (One sigma limit in percent).- Representa el coeficiente de variación, es decir la desviación standard entre el promedio expresado en porcentaje.

Límite D2S (Differance two - sigma limit).- Constituye la máxima diferencia aceptable entre dos resultados obtenidos al ejecutar una prueba standard en porciones de un mismo material.

Límite D2S% (Difference, two - sigma limit in percent).- Es el coeficiente de variación máximo aceptable entre dos resultados obtenidos al ejecutar una prueba standard sobre porciones de un mismo material.

En nuestro medio la producción del cemento es por lo general deficiente, apreciándose principalmente en lo siguiente:

- No se toma en cuenta un diseño de mezclas, por lo general el concreto es una mezcla de 1:3, es decir una de cemento más tres de hormigón.
- La relación agua-cemento, tampoco es controlado, siendo esta relación de mayor agua por tanto el riesgo de la disminución de resistencia es clara.
- La falta de compactación adecuada en el concreto es otro problema, si bien es cierto que el concreto es compactado con una varilla, este no es eficiente, lo que pone en riesgo la densidad del concreto.
- Otra deficiencia es la falta de curado; efectuándose este mecanismo por solo dos o tres días.
- No se toma en cuenta la temperatura en la producción del concreto, poniendo en riesgo una hidratación interrumpida por el frío sobre todo el cemento.

MEZCLADO

- La dosificación, de los materiales, deberán diseñarse, para las diferentes calidades de concretos a utilizarse en la obra, se harán empleando el contenido mínimo de agua. La dosificación se hará en peso y estará de acuerdo a las recomendaciones para dosificación de mezclas ACI-613.
- La tanda de agregados y cemento se colocara en una superficie limpia y nivelada, antes de efectuar la operación del mezclado.
- El mezclado se realizara en forma manual con la ayuda de palas, se batirá la mezcla por lo menos tres veces o hasta lograr que el cemento se distribuya de manera uniforme con el agregado obteniéndose un color uniforme, esta operación se realizara con la mezcla en seco, el agua se deberá agregar gradualmente de forma que se hidrate toda la mezcla, posteriormente se batirá la mezcla con la ayuda de palas volteando la mezcla hasta obtener una pasta de color uniforme y trabajable.
- No se permitirá el uso de agua guardada del día anterior.
- El concreto deberá ser mezclado hasta que se logre una distribución uniforme de los materiales. La mezcla será para uso inmediato. El concreto excedente no deberá ser reemplazado sino descargado y eliminado.
- Con una mezcla del máximo tamaño posible, bajo Slump y por tanto bajo contenido de agua, se reduce la tendencia del mortero a escarpar por las uniones no impermeables y ayuda la reducción de variaciones de color, burbujas de aire atrapado y fisuras por construcción.

TRANSPORTE

- El concreto será transportado al lugar de vaciado, tan pronto como sea posible, evitando la separación o segregación de sus ingredientes, asegurando la calidad del concreto preparado.
- Sé transportará con mínimo de trabajo por medio de cubos, carretillas u otros equipos apropiados.

- En consecuencia el transporte de concreto deberá de cumplir las siguientes exigencias básicas:
 - Evitar la segregación de la mezcla.
 - Evitar la contaminación.
- También evitar la pérdida la trabajabilidad por evaporación de agua; y la pérdida de plasticidad evitando con ello la formación de juntas frías.

COLOCACIÓN

El concreto deberá ser colocado tan cerca como sea posible de su ubicación final, a fin de evitar segregación debida, a re manipuleo o flujo. El concreto no deberá ser sometido a ningún procedimiento que pueda originar segregación. Deberá preverse suficiente capacidad de colocación, mezclado y transporte, de manera que el concreto pueda mantenerse plástico y libre de juntas frías mientras se coloca.

Debe colocarse en capas horizontales que no excedan de 50cm. De espesor. Para construcciones monolíticas, cada capa debe colocarse cuando la capa subyacente todavía responda a la vibración, y las capas deben ser lo suficientemente poco profundas como para permitir su unión entre sí, mediante una vibración apropiada.

Deberá transcurrir cierto tiempo después del vaciado de columnas y muros esperándose al menos hasta que el concreto de ellos pase del estado plástico al sólido antes de vaciar los elementos horizontales que apoyan en ellos.

PRECAUCIONES EN CLIMAS SEVEROS

En épocas lluviosas deberá eliminarse el agua acumuladas en las zonas donde se colocara el concreto fresco y sé cubrirá el área de trabajo con coberturas adecuadas hasta que el concreto fragüe.

En climas fríos cuando las “Temperaturas Medias” se mantengan por debajo de 5° C el concreto debe colocarse a una temperatura de 13°c o más cuando las secciones son menores de 30cm, en cualquier dimensión,

ó 10°C o más para secciones entre 30cm y 90cm y temperaturas mayores de 7°C para secciones mayores a 90cm.

Antes de colocación del concreto deberá retirarse la nieve, granizo o hielo de ellas armaduras, encofrados y superficies donde se vaciara el concreto.

En climas cálidos deberá regarse con agua fría los encofrados, armaduras y superficies donde se vaciará el concreto, el mismo, que preferentemente será colocado en la noche.

CONSOLIDACIÓN

El mejor sistema actualmente conocido para la consolidación es a la .vibración. La vibración por sí mismo, no hace al concreto más fuerte, ni más resistente a los agentes externos, pero permite el uso de mezclas más secas y menos trabajables.

No debe concentrarse la vibración en un solo sitio por más tiempo de necesario que se recomienda no sobrepasar 10 segundos. Una referencia de orden práctico es retirar el vibrador cuando comienza a aflorar lechada de cemento en la superficie. Vibrados excesivos en un solo sitio generan segregación. La aguja o “cabezote” del vibrador de inmersión debe ser introducido verticalmente, evitando movimientos bruscos que podrían ocasionar bolsadas de aire.

En la vibración interna, debe evitarse el vibrador de los encofrados o armaduras, pues puede producir fallas en aquellos y pérdida de adherencia en estas. Inmediatamente después de colocado el concreto, este deberá ser consolidado hasta alcanzar la máxima densidad, lograra una masa uniforme y adecuada colocación en los encofrados, alrededor del refuerzo y elementos embebidos.

Esta consolidación deberá iniciarse tan pronto como el concreto fue colocado, operación que debe efectuarse antes que el concreto inicie su proceso de fraguado.

La consolidación puede ser manual y por vibración.

Consolidación Manual.- Es aplicable solo a mezclas con asentamiento mayores de 4" (10cm), especialmente en secciones estrechas o con grandes concentraciones de refuerzo.

Se usara varillas metálicas de sección circular con uno de sus extremos en forma de semiesfera, que se introducirán en la altura total de la capa compactada alcanzando a unirla al concreto de la capa inferior.

Consolidación por vibración.- Este es el procedimiento más recomendable, con el que se logra mejores niveles de compactación.

Las capas de mezcla a vibrarse deben estar entre 10cm. y 50cm con tiempos de vibrado de 3 a 15 segundos cada 30 ó 45cm.

El equipo tendrá una frecuencia no menor de 7,000 RPM. Este equipo no deberá ser empleado para mover el concreto ni entrar en contacto con el encofrado.

Los vibradores podrán tener motores eléctricos a gasolina o accionados por aire comprimido. Estos últimos no son recomendables en zonas en las que la temperatura ambiente es cercana a 0°C.

2.3.2 Colocación del concreto.

CEMENTO

Previamente al hablar del control de calidad del cemento haremos una revisión breve de su composición para tener claro lo que es importante controlar.

Luego del proceso de formación del clinker y molienda fina!, se obtienen los siguientes compuestos que son los que definen el comportamiento del cemento hidratado y que estableceremos con su fórmula química, abreviatura y nombre corriente.

- a. **Silicato Tricálcico.**- Define la resistencia inicial (en la primera semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.
- b. **Silicato Dicálcico.**- Define la resistencia a largo plazo y tiene incidencia menor en el calor de hidratación.
- c. **Aluminato Tricálcico.**- Aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso (3% - 6%) para controlarlo.
- d. **Alumino-Ferrito Tetracálcico.**- Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- e. **Oxido de magnesio.**- Pese a ser un componente menor, tiene importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.
- f. **Oxidos de Potasio y Sodio.**- Tienen importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos.
- g. **Oxidos de Manganeso y Titanio.**- El primero no tiene significación especial en las propiedades del cemento, salvo en su coloración, que tiende a ser marrón si se tienen contenidos mayores del 3%. Se ha observado que en casos donde los contenidos superan el 5% se obtiene disminución de resistencia a largo plazo.

CONTROL DE CALIDAD EN OBRA, ALMACENAJE Y SUS CONSECUENCIAS

Lo ya mencionado en relación a los cementos nacionales nos hace reflexionar en que la base del control de calidad en obra la constituye un seguimiento estadístico del suministro del cemento, del tiempo y

condiciones de almacenaje, así como de la oportunidad y finalidad con que se emplea.

En cuanto a las condiciones de almacenaje, es recomendable limpiar con frecuencia los silos metálicos de depósito sobre todo en climas de humedad relativa alta, pues se produce hidratación parcial del cemento adherido a las paredes, y que con el uso del silo ocasiona que se desprendan trozos endurecidos y se mezclen con el cemento fresco causando problemas en la uniformidad de la producción del concreto. En el caso de cemento en bolsas el concepto es similar en cuanto protegerlas de la humedad, bien sea aislándolas del suelo o guardándolas en ambientes cerrados. Una manera práctica de evaluar si ha habido hidratación parcial del cemento almacenado, consiste en tamizar una muestra por la malla N° 100 según la norma ASM C-184, que establece como debe hacerse esta prueba, que para un cemento fresco debe dar valores menores del 0.5%, por lo que resultados superiores indicarán que ya hay hidratación parcial y consecuentemente alteración de propiedades.

Finalmente hay que aclarar que en cuanto al almacenaje, el criterio correcto para evaluar la calidad del cemento no es el tiempo que ha estado almacenado sino las condiciones de hidratación del cemento al cabo de ese período, por lo que lo aconsejable es tomar las previsiones para evitar o retrasar la hidratación desde un inicio, en vez de dejar pasar el tiempo sin ninguna precaución y entrar luego en las complicaciones de evaluar si estará apto o no para usarse.

AGUA DE MEZCLA

El agua es el elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto este elemento debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química.

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- (1) Reaccionar con el cemento para hidratarlo.

- (2) Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- (3) procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espada para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla de Concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento.

AGREGADOS

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS Y LOS REQUISITOS DE CALIDAD PARA SU EMPLEO EN CONCRETO

En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad, y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación.

Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas estándar que miden estas propiedades de manera directa o indirecta, para compararlas con valores de referencia establecidos.

Para que los resultados de las pruebas aludidas tengan significado estadístico, es básico que el muestreo se efectúe también de acuerdo a ciertas pautas estándar descartando la etapa de muestreo para evaluación de canteras que representa una etapa preliminar más compleja, lo usual es efectuar los muestreos de agregados de pilas de almacenaje de forma cónica o tronco cónica. En estas condiciones, los agregados tienden a segregarse, por lo cual, en el caso del agregado grueso el muestreo debe hacerse obteniendo tres porciones de material, una de la parte superior, una del medio y la última de la parte inferior, tomando el cuidado de insertar, una plancha o lampa verticalmente un poco por encima de donde se muestrea para evitar segregación adicional durante la operación.

Análisis Granulométrico

Es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

Como sería sumamente difícil medir el volumen de los diferentes tamaños de partículas, se usa una manera indirecta, cual es tamizarlas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos refiriéndolos en % con respecto al peso total.

Los valores hallados se representan gráficamente en un sistema coordinado semi-logarítmico que permite apreciar la distribución acumulada. Esta es válida mientras se trabaja con agregados normales, en que los pesos específicos de las partículas no difieren mucho, pero cuando se trata de agregados de pesos específicos muy diferentes, hay que hacer las conversiones convenientes para que se presente realmente la distribución volumétrica que es la que interesa para la elaboración de concreto.

Módulo de Fineza

Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y que tiene sustento matemático pues es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica.

La justificación experimental que avala esto consiste en que está demostrado que independientemente de la granulometría, los concretos con agregados de igual módulo de fineza, mantienen las mismas condiciones de trabajabilidad y resistencia.

Se define el módulo de fineza como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard resta el tamiz N° 100 y esta cantidad se divide entre 100.

REQUISITOS QUÍMICOS DE LOS AGREGADOS

En cuanto a los requisitos químicos, lo básico es evitar contaminaciones de manera similar al caso del agua, siendo el caso más característico el de contaminación con cloruros y sulfatos. No existen limitaciones particulares para los contenidos de cloruros y sulfatos que pueden tener los agregados, ya que estos deben evaluarse conjuntamente con los aportes del agua, el cemento y los aditivos, Por otro lado siempre existe la alternativa de lavar los agregados con lo que la contaminación se elimina o se reduce a cantidades despreciables desde un punto de vista práctico.

El ACI establece como pauta para el caso de los cloruros que el balance total de cloruros solubles en agua, en la mezcla de concreto no deben superar el 0.2% del peso del cemento, para prevenir problemas de corrosión, sin embargo existen muchos investigadores que discrepan con este límite. En el caso de los sulfatos, existe evidencia experimental de que los sulfatos en los agregados, no tienen tanta influencia como la agresión externa de estos hacia el concreto endurecido ya que aparentemente la mayor cantidad de ellos intervienen en la reacción química de hidratación del cemento, formando compuestos inócuos.

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO FRESCO

El control de calidad del concreto fresco depende en primera instancia de los procedimientos de muestreo que permitan contar con porciones representativas, y luego, el conocimiento de las propiedades en este estado y las pruebas que las evalúan.

La Norma ASTM C-172, da las pautas a seguirse en el muestreo, y que consisten básicamente en:

- a. El tiempo transcurrido *entre* la obtención de dos porciones para formar una muestra debe ser *como* máximo 15 minutos.
- b. Las muestras deben transportarse al sitio donde se realizarán los ensayos o donde se moldearán probetas, teniendo que efectuarse un

- remezclado con lampa para uniformizar la mezcla luego del transporte.
- c. Las pruebas de control de concreto fresco deben efectuarse a más tardar 5 minutos después de obtenida la muestra.
 - d. El moldeo de probetas para ensayos de compresión debe iniciarse dentro de los 15 minutos luego del muestreo.
 - e. El tiempo entre la obtención y el uso de la muestra debe ser el menor posible, cuidando en todo momento de protegerla del sol, el viento y otras fuentes de evaporación.
 - f. El tamaño mínimo de muestras para ensayos de compresión debe ser 1 pié.
 - g. El muestreo de mezcladoras estacionarias o camiones mezcladores debe realizarse del tercio central de la carga, y en por lo menos dos porciones que se integrarán en una sola muestra.
 - h. El muestreo de concreto ya descargado se debe efectuar, con por lo menos 5 porciones que se integraran en 1 muestra.

CONTROL DE LA TRABAJABILIDAD Y SU TRASCENDENCIA

La trabajabilidad constituye el parámetro más manejado por los que diseñan, producen y colocan concreto, sin embargo es el más difícil de definir, evaluar y cuantificar en términos absolutos.

Se define como el mayor o menor trabajo que hay que aportar al concreto en estado fresco en los procesos de fabricación, transporte, colocación, compactación y acabado.

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

2.3.3 Control de temperatura

Este es un parámetro muy importante de controlar pues condiciona la velocidad con que se desarrolla el proceso de endurecimiento inicial del concreto. El valor de la temperatura del concreto resulta del equilibrio termodinámico entre las Temperaturas de los componentes.

La norma ASTM C-1 064 indica la manera de medir la temperatura del concreto, para lo cual se debe contar con un termómetro de 0.5 DC de precisión en la lectura, no siendo necesario usar una muestra compuesta, siendo suficiente humedecer previamente el recipiente contenedor antes de colocar el concreto e introducir el termómetro por un tiempo mínimo de 2 mino hasta que se establezca la lectura y un máximo de 5 mino desde la obtención de la muestra.

El termómetro debe introducirse de manera que esté cubierto con por lo menos- 3" de concreto en todas las direcciones a su alrededor.

CONTROL DEL PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE

Son dos controles muy útiles para verificar uniformidad del concreto y comprobar el rendimiento de la mezcla al comparar el peso unitario del diseño con el real de obra.

Las normas aplicables son las ASTM C-138, C-231 Y C-173 la medición del contenido de aire es indispensable cuando se utilizan incorporadores de aire para prevenir los efectos perjudiciales de los ciclos de hielo y deshielo.

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO

En el concreto endurecido se pueden realizar muchos ensayos de tipo destructivo y no destructivo para evaluar sus características en este estado, pero sólo trataremos algunos de los que se aplican en nuestro país de manera rutinaria.

- Ensayo de Compresión Simple en Probetas cilíndricas de 6" de Diámetro por 12" de altura.

- Ensayo de tracción por Flexión.
- Ensayo de rebote en concreto endurecido.

TEMPERATURAS PROMEDIO

ESTACION : Juliaca **PROPIETARIO** : CORPAC S.A.
DISTRITO : Juliaca **LATITUD** : 15° 29 S
PROVINCIA : San Román **LONGITUD** : 70° 09 W
DPTO : Puno **ALTITUD** : 3826 msnm
FECHA : Junio 2004

DIA	°C 6.00 hrs.	°C 9.00 hrs.	°C 12.00 hrs.	°C 15.00 hrs.	°C 18.00 hrs.	°C 21.00 hrs.
1	7	12	18	19	11	5
2	5	15	13	15	15	4
3	7	9	15	20	13	7
4	8	12	16	17	10	6
5	6	9	17	18	12	5
6	7	13	20	20	11	4
7	8	14	22	17	13	7
8	6	15	15	19	14	5
9	5	14	14	18	15	4
10	4	9	12	20	11	7
11	3	10	16	19	12	6
12	5	11	13	17	14	4
13	3	15	17	20	15	5
14	7	14	16	18	13	7
15	4	10	15	16	12	6
16	5	9	13	15	10	4
17	3	12	17	20	11	5
18	7	11	14	18	15	7
19	6	14	18	16	14	6
20	8	13	20	17	12	5
21	3	15	19	20	11	7
22	5	12	22	19	10	4
23	4	13	16	15	15	6
24	7	11	14	18	14	5
25	6	15	23	20	13	7
26	8	9	18	17	12	4

27	2	10	14	19	11	7
28	4	12	13	18	15	5
29	7	10	19	15	14	4
30	4	9	17	20	10	6

2.4 Fraguado y endurecimiento del concreto.

Ya es conocido que la sucesión de cambios de estado que normalmente experimenta el concreto desde que se mezcla hasta que se encuentra finalmente colocado y compactado en la estructura. Conforme a este proceso evolutivo se distinguen tres principales etapas que corresponden a otros tantos estados característicos del concreto:

- a. El lapso anterior al fraguado, durante el cual el concreto se manifiesta como una mezcla relativamente blanda y moldeable, en función de la consistencia con que se elabora.
- b. El lapso de fraguado, en cuyo curso la mezcla aumenta progresivamente de consistencia, para convertirse en una masa rígida que ya no es moldeable, pero que aún no adquiere resistencia mecánica apreciable.
- c. El lapso posterior al fraguado que corresponde a la etapa del endurecimiento propiamente dicho, en la que el concreto evoluciona para adquirir la resistencia mecánica y demás propiedades inherentes, que lo identifican con el material de construcción previsto para prestar el servicio requerido.

Dado que estos cambios de estado son consecuencia de un proceso único, designado como hidratación del cemento y que en condiciones normales evoluciona sin pausas, no hay una justificación real que permita acotar con precisión los límites de las etapas que marcan los cambios de estado, particularmente entre la segunda y tercera etapas. Sin embargo,

por razones de utilidad práctica, se considera que la primera etapa es aquella en que el concreto puede ser moldeado o remodelado; en la segunda etapa el concreto, se halla en curso de rigidización y ya no puede ser moldeado o remodelado sin riesgo de causarle daño permanente, pero admite la ejecución de ciertas operaciones superficiales relacionadas con la obtención del acabado requerido; finalmente en la tercera etapa el concreto manifiesta demasiada rigidez y dureza para permitir cualquier manipulación adicional.

Al seguir el proceso de rigidización del concreto en sus dos primeras etapas por el método de las agujas de penetración, se obtiene una evolución. Se estableció que el concreto puede ser moldeado o remodelado sin perjuicio mientras su grado de consistencia o de rigidez se conserva inferior al de un cierto estado definido por una resistencia a la penetración igual a 35 kg/cm^2 , el cual se designa como estado de fraguado inicial o de límite de compactación por vibración; de esta manera, la adquisición de dicha resistencia a la penetración representa el final de la primera etapa y el principio de la segunda.

Conforme al mismo método de prueba, se considera que cuando el concreto alcanza una resistencia a la penetración igual a 280 kg/cm^2 , es síntoma de haber llegado a un completo estado de rigidización que se designa como fraguado final y en el cual su resistencia a la compresión es muy reducida pues suele hallarse en el orden de los 7 kg/cm^2 aproximadamente. Para fines prácticos se considera que esta resistencia a compresión es nula y que la de una resistencia a la penetración de 280 kg/cm^2 representa el estado en que el concreto comienza a adquirir endurecimiento propiamente dicho.

2.4.1 Etapas del proceso del fraguado y endurecimiento.

Independientemente del grado de aproximación con que estas resistencias a la penetración puedan corresponder a los estados del

concreto cuya representación y significado práctico se les adjudica, es indudable la utilidad del método para evaluar comparativamente diferentes concretos y condiciones y para ser utilizado en el establecimiento de especificaciones que reglamenten el comportamiento del concreto en este aspecto.

Al entrar el concreto a la tercera etapa es cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentosos producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa de concreto. Esta tercera y última etapa debe prolongarse hasta que todo el cemento se hidrate, a menos que se interrumpan las condiciones de humedad y temperatura que son propicias para el desarrollo de su hidratación. Debido a que la adquisición de resistencia mecánica es un buen índice del avance del proceso de hidratación, el seguimiento del endurecimiento del concreto en la tercera etapa suele hacerse mediante la determinación de su resistencia a compresión en especímenes representativos, ensayados a edades que se incrementan progresivamente.

Definida de tal modo, la evolución de la resistencia a compresión del concreto durante los primeros doce meses de la tercera etapa suele mostrar una tendencia, que es aplicable al concreto convencional hecho con cemento Pórtland sin aditivos y curado en condiciones normales de humedad y temperatura. Si se le asigna un valor de 100 por ciento a la resistencia que se obtiene al año. Por esta razón, y tomando en cuenta lo prolongado e impreciso en la conclusión de esta última etapa, es usual en estructuras ordinarias considerar que al mes (28 días exactamente) el concreto ha endurecido lo suficiente para prestar el servicio requerido. De esta manera se conviene en adoptar este grado de endurecimiento para fines de cálculo estructural y de identificación de propiedades del concreto endurecido; lo que implícitamente significa delimitar y utilizar una fracción

inicial de la tercera etapa, sin tomar en consideración la evolución posterior.

Es necesario no perder de vista que, conforme a la consideración anterior, se deja de aprovechar alrededor del 20 por ciento de la resistencia potencial del concreto; porcentaje que incluso suele ser mayor cuando en el concreto se utiliza un cemento Pórtland-puzolana de buena calidad.

2.4.2 Evolución del fraguado.

Expresado en términos de su manifestación física, el fraguado es la condición adquirida paulatinamente por una pasta de cemento o por una mezcla de mortero o de concreto, cuando ha perdido plasticidad en un grado arbitrario, definido normalmente en función de su resistencia a la penetración o de su deformación. Además de esta manifestación que se puede denominar normal, hay otras dos formas de fraguado que son anormales e indeseables:

- 1) El falso fraguado que se manifiesta por una rápida pérdida de plasticidad, prácticamente sin desarrollo de calor, que puede ser restituida con un remezclado sin añadir agua.
- 2) El fraguado instantáneo que se caracteriza también por una súbita pérdida de plasticidad, pero con gran desarrollo de calor, y en cuyo caso la plasticidad no puede ser restituida con un remezclado, a menos que se adicione agua.

Fraguado del cemento

En el aspecto químico, el fraguado es la primera manifestación de la hidratación del cemento; el aluminato tricálcico (C3A) es el compuesto del clinker Pórtland que se hidrata con mayor rapidez y por ello influye notablemente en su velocidad de fraguado, al grado que este compuesto

puro puede fraguar instantáneamente, al mezclarse con el agua. Por tal motivo, con objeto de evitar un fraguado demasiado rápido en el cemento, se le incorpora al clinker una reducida proporción de yeso durante la molienda para que actúe como regulador de la hidratación del C3A.

Supuestamente, este compuesto reacciona en pocos minutos con el yeso para convertirlo a etringita, en una fase en que ésta no es perjudicial, y después el C3A excedente continúa su reacción normal sin afectar el fraguado.

La proporción adecuada de yeso debe definirse en cada caso en función de la composición química del clinker y de la finura de molienda; cuando no ocurre así puede manifestarse fraguado instantáneo del cemento al mezclarlo con el agua, debido al citado efecto del C3A.

En cuanto al falso fraguado, normalmente se origina por un exceso de temperatura del clinker (por falta de enfriamiento) que al molerse caliente con el yeso produce la deshidratación parcial de éste; posteriormente, al mezclar el cemento con el agua, el yeso se rehidrata y provoca una repentina rigidización de la mezcla. En ambos casos, el cemento produce dificultades durante la elaboración del concreto, por lo que no debe emplearse en esas condiciones.

Cuando se utiliza un cemento sin esos inconvenientes, es decir que fragua normalmente, puede esperarse que la rigidización de la pasta de cemento evolucione gradualmente y que el tiempo requerido por la mezcla de concreto para pasar del estado plástico a rígido resulte dentro de límites que en la práctica han resultado adecuados y suficientes para llevar a cabo todas las operaciones constructivas en condiciones ordinarias.

Fraguado del concreto.

En lo que concierne al concreto convencional, el tiempo de fraguado no suele ser motivo de reglamentación en las especificaciones, salvo que se utilicen aditivos que lo modifiquen, en cuyo caso lo que se acostumbra limitar es el efecto que produce el aditivo con relación a lo que tarda en fraguar el mismo concreto sin el aditivo.

Para seguir la evolución del fraguado del concreto, existen diversos procedimientos que miden los cambios que se operan en el concreto conforme se rigidiza en cuanto a resistencia al paso de una corriente eléctrica, velocidad de propagación de ondas sónicas, generación de calor, deformabilidad, resistencia mecánica, etc., de todos los cuales solamente se halla reglamentado por métodos ASTM el que mide la resistencia a la penetración con agujas tipo próctor de la fracción mortero obtenida por cribado en húmedo del concreto mediante la malla ASTM No 4.

Se indica la forma como varían los tiempos de fraguado de una mezcla de mortero, conforme cambia su temperatura de curado. La inferencia práctica de este último es que en clima caluroso no sólo resulta limitado el tiempo disponible para las actividades que se realizan en la etapa anterior al fraguado, sino también para las que deben efectuarse en el curso del fraguado, antes de fraguado final.

Resulta difícil tratar de establecer límites precisos para definir un Intervalo de temperatura moderada, dentro del cual pueda esperarse que el fraguado del concreto evolucione con "normalidad", es decir, que no sea tan rápido como para rigidizar la mezcla antes de concluir su colocación, compactación y acabado, ni tan lento como para crear presiones no previstas sobre las cimbras, u ocasionar retrasos en el avance de la construcción.

2.4.3 Evolución del endurecimiento.

La hidratación del cemento es un proceso que en condiciones favorables de humedad y temperatura evoluciona sin pausas, de manera tal que sus manifestaciones sucesivas, fraguado y endurecimiento, se producen sin interrupción. También se ha dicho que, por definición convencional, el fraguado del concreto concluye cuando alcanza una resistencia a la penetración igual a 280 kg/cm^2 al ser ensayado por el método de prueba ASTM C-403, y a partir de ahí comienza su verdadero endurecimiento. Juzgado físicamente en ese momento, el concreto recién fraguado es un material rígido pero frágil, con una incipiente resistencia mecánica que medida a compresión no suele exceder a 7 kg/cm^2 .

En cuanto a lo que ocurre a partir de entonces en la microestructura de la pasta de cemento conforme se hidrata, es un fenómeno complejo que ha dado motivo a diversas interpretaciones y modelos de desarrollo. Al término de esta etapa los productos de la hidratación denominados genéricamente gel del cemento comienza a formar "puentes" a través de los espacios entre los granos de cemento y entre éstos y las partículas de los agregados para dar rigidez a la masa de concreto.

A continuación, y a medida que continúan desarrollándose, estos productos ocupan los espacios microintersticiales para reducir progresivamente la porosidad de la pasta hidratada, generando en ella las propiedades mecánicas que también se hacen extensivas al concreto.

De acuerdo con ello, las propiedades mecánicas de la pasta hidratada, y en particular su resistencia compresión, dependen inversamente de su porosidad, que incluye pastas de cemento compactas, sometidas a diversos tratamientos de presión y temperatura, a fin de alcanzar un alto grado de compacidad (muy baja porosidad) y de resistencia a compresión.

El grado de porosidad (y de resistencia a compresión) de una pasta de cemento compactada normalmente, en un momento dado, depende básicamente de su relación agua/cemento original, que determina el espacio proporcional ocupado por el agua al mezclar la pasta, y del grado de hidratación alcanzado por el cemento hasta ese momento, que en cierta medida corresponde al grado de ocupación que los productos de la hidratación han hecho del espacio originalmente ocupado por el agua.

La relación agua/cemento con que se elabora el concreto es un dato que se define al diseñar la mezcla, pero la continua formación de productos de hidratación es un fenómeno que solo se cumple adecuadamente en condiciones favorables de curado. De donde se confirma una vez más que no basta emplear el concreto potencialmente adecuado, sino también es indispensable proporcionarle los debidos cuidados desde que se coloca en la estructura hasta que adquiere suficiente endurecimiento para dar el servicio requerido.

Influencia del tipo de cemento

A diferencia de la poca influencia que ejerce en el tiempo de fraguado, el cambio de tipo o clase de cemento puede modificar significativamente la evolución del endurecimiento del concreto, principalmente en sus primeras edades, de acuerdo con sus características de finura y composición Química.

El efecto de la finura del cemento en este aspecto es bastante simple: a medida que los granos de cemento son más pequeños se hidratan con mayor rapidez, de manera que conforme aumenta la finura del cemento (en igualdad de otras características y condiciones) desarrolla mayor resistencia mecánica al principio de la etapa de endurecimiento, aunque más adelante su resistencia tiende a igualarse con la del cemento comparable de menor finura. Es decir, un incremento en la finura de molienda del cemento produce el efecto de acelerar la velocidad de adquisición inicial de resistencia mecánica, y este efecto suele

aprovecharse en la fabricación del cemento portland tipo III que por definición es de resistencia rápida.

Para definir el grado de finura de molienda que conviene dar al clinker, el fabricante busca conciliar factores técnicos y económicos a fin de que el cemento cumpla con los requisitos aplicables a su tipo sin presentar características indeseables, al menor costo posible.

2.4.4 Medios para modificar el fraguado y el endurecimiento.

Se ha mencionado con anterioridad que el desarrollo del fraguado y del endurecimiento del concreto puede ser influido por diversos factores relacionados con su composición, tales como el tipo o clase de cemento, el consumo unitario de éste, la relación agua/cemento, la consistencia con que se elaboran las mezclas y empleo de aditivos; y también por factores extrínsecos entre los que destaca por sus efectos y también por factores la temperatura.

Sin embargo, no todos estos factores tienen una influencia del mismo orden, ni que puede ser predecible y regulable, de modo que para ejercer un dominio efectivo y controlado sobre la evolución del fraguado y/o del endurecimiento, solamente es común hacer uso de la temperatura y los aditivos y, en menos medida, del tipo y consumo de cemento. Cada uno de estos medios tiene sus propios méritos, limitaciones y campos de aplicación, por lo que es conveniente examinarlos separadamente.

Modificación por efecto de la temperatura

La influencia que la temperatura ejerce en la forma de evolucionar de los diferentes estados del concreto, ha sido sucesivamente tratada en lo relativo al cambio de consistencia de las mezclas, a la variación del tiempo de fraguado y a la modificación de la velocidad de endurecimiento o de adquisición de resistencia mecánica. Debido a que esta influencia se ejerce sobre un proceso único, que es el de hidratación del cemento, su

efecto siempre es cualitativamente el mismo: si la temperatura asciende, las mezclas pierden revenimiento con más rapidez, fraguan más pronto y adquieren resistencia a mayor velocidad; de igual modo, si la temperatura descende, se producen las manifestaciones opuestas.

El ascenso o el descenso de la temperatura en el concreto, muchas veces no acontece de manera regulada o deseada, sino más bien como consecuencia de las características y condiciones de los componentes, de las estructuras o del medio ambiente pero también suele ocurrir que se haga uso de la temperatura como un medio para modificar controladamente el proceso de fraguado y/o de adquisición de resistencia mecánica del concreto, amén de darle protección en condiciones adversas.

Los agentes térmicos de cuya acción deriva la temperatura del concreto pueden ser de procedencia interna o externa, lo cual no hace diferencia en sus efectos. Entre los que actúan internamente destaca la temperatura propia de cada uno de sus componentes y el calor que se genera como consecuencia de la hidratación del cemento.

La temperatura de los componentes se refleja inmediatamente en la temperatura del concreto, y puede manifestarse como exceso o defecto con respecto a un intervalo de temperatura deseable, no ocurre así con la temperatura que se debe a la hidratación del cemento que sólo actúa en sentido ascendente, y cuya transmisión al concreto no es inmediata. Debido a ello, para fines de modificar rápida y controladamente la temperatura del concreto en ambos sentidos (enfriamiento o calentamiento), el medio más común consiste en actuar sobre la temperatura de los componentes, ya sea modificando ésta o incorporando a la mezcla componentes adicionales con temperatura apropiada al efecto requerido.

En cuanto a los agentes térmicos que proceden del exterior, cabe mencionar la temperatura natural del medio ambiente y la que se

comunica artificialmente al concreto por diversos procedimientos. La temperatura del medio ambiente puede ejercer influencia en ambos sentidos (ascenso o descenso) y su manifestación en el concreto es inmediata porque influye también en la temperatura de los componentes, pero su acción no es regulable ni disponible cuando se requiere, y esto cancela su utilidad para el fin previsto.

Por su parte, el uso de procedimientos externos para modificar la temperatura del concreto con objeto de influir en el proceso de fraguado y/o endurecimiento, puede producir respuestas casi inmediatas y su accionamiento es regulable, pero sólo es económicamente operante y funcional en el sentido de incrementar la temperatura, por lo cual es un medio que se limita normalmente a aplicaciones en que se requiere calentar el concreto.

Resumiendo, la utilización de la temperatura como medio para influir controladamente en la evolución del proceso de fraguado y/o endurecimiento del concreto, se reduce normalmente a dos procedimientos:

- 1) El ajuste en más o en menos de la temperatura de la mezcla de concreto al ser elaborada, mediante calentamiento o enfriamiento de los componentes y/o la incorporación de componentes adicionales de temperatura adecuada al ajuste requerido.
- 2) La modificación en más (sólo calentamiento) de la temperatura del concreto ya colocado y compactado en los moldes, por la transmisión de calor procedente de fuentes externas de diversa índole y manera de operar. Ambos procedimientos, cuando se trata de calentar el concreto, por lo general no son alternativos, pues tienen diferentes funciones y usos específicos.

2.5 Durabilidad del concreto

El ACI define la durabilidad del concreto de cemento Pórtland como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, abrasión, y cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzcan deterioro del concreto.

La conclusión primordial que se desprende de esta definición es que la durabilidad no es un concepto absoluto que dependa sólo del diseño de mezcla, si no que está en función del ambiente y las condiciones de trabajo a las cuales lo sometamos.

En este sentido, no existe un concreto "durable" por sí mismo, ya que las características físicas, químicas y resistentes que pudieran ser adecuadas para ciertas circunstancias, no necesariamente lo habilitan para seguir siendo "durable" bajo condiciones diferentes.

Tradicionalmente se asoció la durabilidad a las características resistentes del concreto, y particularmente a su resistencia en compresión, pero las experiencias prácticas y el avance de la investigación en este campo han demostrado que es sólo uno de los aspectos involucrados, pero no el único ni el suficiente para obtener un concreto durable. En consecuencia, el problema de la durabilidad es sumamente complejo en la medida en que cada situación de exposición ambiental y condición de servicio ameritan una especificación particular tanto para los materiales y diseño de mezcla, como para los aditivos, la técnica de producción y el proceso constructivo, por lo que es usual que en este campo las generalizaciones resulten nefastas.

Es obvio pues que en este aspecto se debe desterrar una práctica muy común en nuestro medio como es la de repetir copiar o "adaptar" especificaciones técnicas locales y foráneas para proyectos y situaciones que muestran similitudes aparentes, pero que sin embargo desde el punto

de vista de la Tecnología del Concreto y la durabilidad requieren una evaluación y criterios particulares.

Quienes han tenido la oportunidad de laborar en las diferentes regiones de nuestro país, habrán podido comprobar la repetición sistemática de errores conceptuales y prácticas constructivas inadecuadas en lo que a tecnología del concreto y durabilidad se refiere por el concepto equivocado de que el concreto es un material "noble" que puede asimilar nuestras deficiencias, que es antieconómico trabajar con los avances de la técnica moderna.

2.5.1 Factores que afectan la durabilidad del concreto.

En este acápite delimitaremos los factores que influyen en el deterioro de concreto y consecuentemente en la durabilidad, debiendo tenerse presente que no se incluye dentro de ellos la fisuración pues este es un síntoma de los cambios volumétricos.

Los factores mencionados se clasifican en 5 grupos:

- a. Congelamiento y descongelamiento
- b. Ambiente químicamente agresivo.
- c. Abrasión.
- d. Corrosión de metales en el concreto.
- e. Reacciones químicas en los agregados.

CONGELAMIENTO Y DESHIELO Y SU MECANISMO.

Constituye un agente de deterioro que ocurre en los climas en que la temperatura desciende hasta provocar el congelamiento del agua contenida en los poros capilares del concreto. En términos generales el fenómeno se caracteriza por inducir esfuerzos internos en el concreto que pueden provocar su fisuración reiterada y la consiguiente desintegración. Es importante tener claro que es un fenómeno que se da tanto a nivel de la pasta de cemento, como en los agregados de manera independiente,

así como en la interacción entre ambos, por lo que su evaluación debe abordar cada uno de estos aspectos.

a) Efecto en la pasta de cemento

Existen dos teorías que explican el efecto en el cemento. La primera se denomina de "Presión hidráulica" que considera que dependiendo del grado de saturación de los poros capilares y. poros del gel, la velocidad de congelamiento y la permeabilidad de la pasta. al congelarse el agua en los poros ésta aumenta de volumen y ejerce presión sobre el agua aún en estado líquido.

b. Efecto en los agregados

En los agregados existe evidencia de que por los tamaños mayores de los poros capilares se producen generalmente presiones hidráulicas y no osmóticas, con esfuerzos internos similares a los que ocurren en la pasta de cemento, existiendo indicios que el tamaño máximo tiene una influencia importante estimándose que para cada tipo de material existe un tamaño máximo por debajo del cual se puede producir el congelamiento confinado dentro del concreto sin daño interno en los agregados.

c. Efecto entre la pasta y los agregados.

Existe la denominada "Teoría Elástica" que considera un efecto mixto de IS agregados sobre la pasta, ya que al congelarse el agua dentro de ellos se forman elásticamente sin romperse por tener una estructura más resistente que la del cemento y ejercen presión directa sobre la pasta generando tensiones adicionales a las ocasionadas en el cemento independientemente.

AMBIENTE QUÍMICAMENTE AGRESIVO.

El concreto es un material que en general tiene un comportamiento satisfactorio ante diversos ambientes químicamente agresivos. El concepto básico reside en que el concreto es químicamente

inalterable al ataque de agentes químicos que se hallan en estado sólido.

Para que exista alguna posibilidad de agresión el agente químico debe estar en solución en una cierta concentración y además tener la opción de ingresar en la estructura la pasta durante un tiempo considerable, es decir debe haber flujo de la solución concentrada hacia el interior del concreto y este flujo debe mantenerse el tiempo suficiente para que se produzca la reacción.

Este marco de referencia reduce pues las posibilidades de ataque químico externo al concreto, existiendo algunos factores generales que incrementan la posibilidad de deterioro como son: Las temperaturas elevadas, velocidades de flujo altas, mucha absorción y permeabilidad, el curado deficiente y los ciclos de humedecimiento y secado.

Los ambientes agresivos usuales están constituidos por aire, agua y suelos contaminados que entran en contacto con las estructuras de concreto.

Se puede decir pues que el concreto es uno de los materiales que demuestra mayor durabilidad frente a ambientes químicamente agresivos, ya que si se compara estadísticamente los casos de deterioro con aquellos en que mantiene sus condiciones iniciales pese a la agresividad, se concluye en que estos casos son excepcionales.

CONTROL DE LA AGRESION QUÍMICA.

La manera más directa consiste en evitar el Construir en ambiente agresivo, pero esto no siempre puede llevarse a cabo, por lo que como regla general se debe procurar alguna barrera que evite el contacto de los cloruros y sulfatos en solución con el concreto.

Esta protección puede llevarse a cabo con pinturas bituminosas, a base de caucho o pinturas especialmente diseñadas para este tipo de agresión (normalmente del tipo epóxico), pero que resultan usualmente soluciones caras.

Otra medida es crear drenajes adecuados entre el concreto estructural y el suelo agresivo que corten el flujo de la solución impidiendo el contacto entre ambos. Una medida conveniente en este sentido consiste en emplear rellenos granulares de Tamaño máximo no menor de 1" de granulometría abierta, que limitan la posibilidad de flujo por capilaridad entre el concreto y el material de relleno.

Independientemente de lo anterior, lo básico para que se reduzca las posibilidades de que el concreto sea deteriorado por agresión química consiste en que el diseño de mezcla considere una relación agua/cemento baja de modo de; reducir su permeabilidad emplear agregados densos y utilizar cementos.

2.5.2 Factores que afectan la resistencia a la abrasión.

ABRASION

Se define la resistencia a la abrasión como la habilidad de una superficie de concreto a ser desgastada por roce y fricción.

Este fenómeno se origina de varias maneras, siendo las más comunes las atribuidas a las condiciones de servicio, como son el tránsito de peatones y vehículos sobre veredas y losas, el efecto del viento cargado de partículas sólidas y el desgaste producido por el flujo continuo de agua.

En la mayoría de los casos, el desgaste por abrasión no ocasiona problemas estructurales, sin embargo puede traer consecuencias en el comportamiento bajo las condiciones de servicio o indirectamente propiciando el ataque de algún otro enemigo de la (agresión química,

corrosión etc.) siendo esto último más evidente en el caso de las estructuras hidráulicas.

El factor principal reside en qué tan resistente es desde el punto de vista estructural ó mecánico la superficie expuesta al desgaste.

Se han desarrollado varias maneras de medir el desgaste o la resistencia a fa abrasión tanto a nivel de laboratorio como a escala natural, pero los resultados son bastante relativos pues ninguna de ellas puede reproducir las condiciones reales de uso de las estructuras ni dar una medida absoluta en términos numéricos que pueda servir para comparar condiciones de uso o concretos similares por lo tanto el mejor indicador es evaluar principalmente factores como la resistencia en compresión, las características de los agregados de diseño de mezcla la técnica constructiva y el curado.

2.5.3 Recomendaciones para el control de la abrasión.

Teniendo claros estos conceptos es obvio que en la medida que desarrollemos las capacidades resistentes de la capa de concreto que soportará la abrasión lograremos controlar el desgaste.

Se estima que la superficie aludida debe tener una resistencia en compresión, mínima de 280 kg/cm² para garantizar una durabilidad permanente con respecto a la abrasión lo cual indica que es necesario emplear relaciones Agua/Cemento bajas, el menor slump compatible con la colocación eficiente, agregados bien graduados y que cumplan con los límites ASTM C-33; para gradación y abrasión así como la menor cantidad posible de aire incluido.

Al margen de estas precauciones previas a la producción está demostrado que un elemento fundamental en el resultado final lo constituye la mano de obra y la técnica de acabado.

Cuando se procede a realizar el acabado sin permitir la exudación "natural" de la mezcla la capa superficial se vuelve débil al concentrarse el agua exudada incrementándose localmente la relación Agua/Cemento.

Se considera que en condiciones normales, el acabado debe ejecutarse alrededor de dos horas luego de la colocación del concreto y habiéndose eliminado el agua superficial.

La cantidad de energía que pone el operario en el proceso de acabado tiene relación directa con el grado de compactación de la superficie habiéndose comprobado experimentalmente una gran diferencia cuando éste trabajo se ejecuta con acabadoras mecánicas (de uso no muy corriente en nuestro medio).

Es usual apreciar la costumbre generalizada de espolvorear cemento sobre la superficie húmeda con objeto de "secarla" y terminar antes con el acabado. lo cual constituye una práctica negativa si aún continúa la exudación pues la película de cemento actúa como una barrera impermeable reteniendo el agua y favoreciendo que disminuya localmente la relación Agua/Cemento.

Si este procedimiento se efectúa luego de la exudación y se integra el cemento o un mortero seco con el resto de la pasta, el efecto es muy beneficioso pues se consigue reducir localmente la relación Agua/Cemento e incrementar la resistencia por lo que el concepto básico está en la oportunidad en que se hace esto y no en la acción misma.

Otra precaución importantísima está constituida por la técnica de curado pues de nada sirve tener materiales y un diseño de mezcla excelentes si luego no propiciamos las condiciones para que se desarrolle la resistencia. y que son temperatura y humedad adecuadas.

Hay una variedad muy grande de tratamientos adicionales para lograr una superficie mucho más resistente que la obtenida con un concreto standard y para ciertos casos especiales no hay otra opción que recurrir a ellos, sin embargo la recomendación principal es el no usarlos sin antes evaluarlos en forma práctica. En el caso de productos del tipo que vienen listos para su uso en obra, hay que tener cuidado pues los fabricantes no pueden cubrir con un sólo producto la infinidad de parámetros involucrados en lo que al concreto se refiere, luego hay que aplicar las recomendaciones de ellos con sentido común y comprobar sus bondades antes de incluirlos en las obras.

CORROSION DE METALES EN EL CONCRETO.

El concreto por ser un material de una alcalinidad muy elevada, y alta resistividad eléctrica, constituye uno de los medios ideales para proteger metales introducidos en su estructura al representar una barrera protectora contra la corrosión. Pero si por circunstancias internas o externas se cambian estas condiciones de protección, se produce el proceso electroquímico de la corrosión generándose compuestos de óxidos de hierro que llegan a triplicar el volumen original del hierro destruyendo el concreto al hincharse y generar esfuerzos internos.⁴

En el concreto pueden incluirse una serie de metales dependiendo de la utilidad que queramos darle, pero lo real es que el acero es el metal de mayor uso desde que se desarrolló el concreto reforzado y sus múltiples aplicaciones, por lo que en este acápite nos limitaremos a considerar sólo el caso de la corrosión del acero de refuerzo.

⁴ DÍAZ, I. – QUEZADA G. – (1997) Ing. Enrique Pasquel. Diagnostico y Reparación de Estructuras de Concreto Armado – Atacadas por Corrosión. Pág. 106.

COMO COMBATIR LA CORROSION

Los cloruros pueden estar dentro del concreto desde su colocación, si los agregados, el agua de mezcla o los aditivos ya los incluían, luego el primer paso consiste en evaluar los materiales del concreto para estimar si contribuirán a la corrosión, y de ser así existen alternativas en cuanto a cambiados por otros que no los contengan o en el caso de los agregados someterlos a lavado para reducir su concentración.

La otra forma como se pueden introducir es entrando en solución por los poros capilares del concreto. Esto se verifica cuando el concreto está en exposición directa a agua con cloruros como es el caso de estructuras marinas o en el aire con alta humedad relativa, y en muchos casos se va depositando sobre el concreto por la humedad ambiental y el viento que arrastra partículas de suelo contaminado ,introduciéndose la solución cuando llueve.

Como se apreciará, para que se produzca el ingreso es necesario que el concreto sea lo suficientemente permeable para que los cloruros lleguen hasta donde se encuentra el acero de refuerzo, por lo que se aplican las mismas recomendaciones que para la agresividad de los sulfatos, con la condición adicional de la importancia extrema del concreto de recubrimiento, que es la barrera principal para el ingreso. En los casos de ambientes agresivos con cloruros deben especificarse recubrimientos mayores de los normales y calidades de concreto que aseguren baja permeabilidad.

Se han desarrollado pinturas especiales para el acero con objeto de prevenir la corrosión bajo condiciones muy agresivas, pero en este aspecto es muy importante el establecer perfectamente las zonas catódicas de modo que con la pintura se evite el oxígeno y el agua que son los requisitos para el fenómeno y por otro lado, nunca se puede

garantizar del todo que el proceso constructivo ocasione que existan algunas zonas desprotegidas en el acero por donde se inicie el proceso.

Existen aditivos llamados inhibidores, que añadidos a la mezcla de concreto combaten la corrosión anulando los cloruros sin embargo su efectividad no está del todo garantizada, y algunos causan efectos secundarios como modificación del tiempo de fraguado, disminución de resistencia en compresión y eflorescencias.

Dentro de estos inhibidores están el Nitrito de Calcio, Nitrito de Sodio, Dicromato de Potasio, Cromato de Zinc, Cromato de Sodio, Benzoato de Sodio etc.

En ambientes potencialmente agresivos como son las zonas adyacentes al mar, es conveniente el efectuar inspecciones periódicas de las estructuras para detectar el inicio de corrosión y evaluar las medidas correctivas.

CAPÍTULO III:

APLICACIÓN DEL ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN ARTESANAL DEL CONCRETO EN OBRAS NORMALES DE LA CIUDAD DE JULIACA.

Para efectuar un análisis referido a la calidad en la producción del concreto normal en la ciudad de Juliaca; estableceremos las siguientes variables:

- Calidad de los componentes del concreto.
- Diseño de mezclas.
- Producción y colocación del concreto.
- Curado del concreto.

3.1 Calidad de los componentes del concreto.

Considerar y exigir la calidad del concreto viene a ser una de las acciones primeras y más importantes en la producción de un buen concreto; por tanto el cemento, los agregados y el agua deberán contener en su composición los parámetros de calidad establecidos para cada caso.⁵

En el caso del cemento estos deberán retirarse de fábrica y almacenarse adecuadamente; tomando en consideración las siguientes recomendaciones:

- Almacenar el cemento en un ambiente adecuado libre de humedad, desperdicios químicos y/o tóxicos.
- El cemento de bolsa deberá arrumarse en un número máximo de 10 bolsas.
- El cemento deberá depositarse sobre tabladillos de madera.
- El cemento deberá de usarse lo más pronto posible.
- No deberá de tenerse cemento almacenado por mucho tiempo.

⁵ CFE. (1994) Manual de Tecnología del Concreto Sección 3, LMUSA, Noriega Editores. México. Pág. 465.

- Deberá protegerse al cemento del contacto de los rayos solares.
- Otros.

Respecto a los agregados tanto finos como gruesos deberán ser de buena calidad; motivo por el que deberá analizarse y establecer sus características físicas mecánicas en el laboratorio; en cada producción de concreto. Del mismo modo deberá tenerse en cuenta su almacenamiento y la separación del agregado grueso y fino a fin de ser utilizados adecuadamente según el diseño de mezclas determinado.

Finalmente en el caso del agua se tendrá que exigir la calidad conveniente. No se tendrá la preocupación en la calidad del concreto, si se utiliza agua potable; pero en el caso de no ser así el agua utilizada en el concreto deberá superar los siguientes análisis: análisis químico, ensayo de fraguado y ensayo de resistencia.

Tomando en consideración los aspectos antes establecidos; las construcciones en la ciudad de Juliaca; sobre todo las personas responsables de la ejecución descuidan la importancia de producir concreto, con los componentes y que estos reúnan la calidad que les corresponde.

3.2 Diseño de mezclas.

Es de nuestro conocimiento que se tiene diversos métodos de diseño de mezclas para concretos normales. Sin embargo enfrentamos en la actualidad una tendencia muy marcada en los profesionales ha rehuir del diseño de mezclas en la obras, encargando muchas veces esas labores a técnicos de laboratorio, que como sabemos, se trata por lo general en nuestro medio de personal normalmente empírico sin formación

académica, y cuya habilidad es variable dependiendo de lo asimilado en forma práctica durante su experiencia laboral.⁶

Un factor fundamental que debe hacernos reflexionar en la importancia de esta labor sea llevado a cabo por profesionales consientes en la relación intrínseca que tiene el concreto y su optimización en el resultado final de una obra. No nos basta tener un buen proyecto estructural, excelente equipo materiales adecuados y mano de obra calificada si finalmente no logramos integrar todo esto mediante un diseño de mezclas preparado, aplicado y controlado eficiente en la obra nos procura el éxito.

Finalmente creemos personalmente, que las especificaciones técnicas de los proyectos deben establecer con mucha claridad y precisión el marco conceptual para el ejecutor con precisiones detalladas de los objetivos particulares en relación al concreto, tales como resistencia, condiciones de durabilidad, requisitos que deben de cumplir los agregados cemento, agua y aditivos, acabados especiales, limitaciones en cuanto a deformaciones, generación de calor, conductividad térmica, procesos constructivos, etc.

En lo que corresponde a los métodos de diseño de mezclas podemos mencionar:

- Método tradicional del ACI.
- Métodos basados en curvas teóricas.
- Métodos basados en curvas empíricas.
- Método del módulo de fineza total.
- Método de Walker.

⁶ENRIQUE RIVVA LOPEZ. (2007) Diseño de Mezclas, Tecnología del Concreto. Nueva Edición. Perú. Pág. 105.

3.3 Producción y colocación del concreto.

Respecto a la calidad del concreto podemos indicar que su diagnóstico estará orientado a:

- Control de calidad del concreto fresco.
- Control de calidad del concreto endurecido.

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO FRESCO.

Depende en primera instancia de los procedimientos de muestreo que permitan contar con porciones representativas y luego el conocimiento de las propiedades en este estado. Es así que el muestreo y la preparación de los testigos debe de hacerse en cumplimiento a la norma ASTM C-172.

Debe de efectuarse el control de temperatura ya que tiene incidencia en la velocidad con que se desarrolla el proceso de endurecimiento inicial del concreto; su procedimiento se indica en la norma ASTM C-1064.

Debe de efectuarse el control del peso unitario y contenido de aire que nos permite verificar a la uniformidad del concreto y comprobar el rendimiento de la mezcla al comparar el peso unitario del diseño con el real de obra.

Debe de efectuarse el control del tiempo de endurecimiento, porque ello, nos da la pauta del tiempo que se dispone en el proceso constructivo para las operaciones de colocación y acabado, sin embargo en nuestro medio rara vez se mide o se especifica su medición, obtandose por fijar tiempos límites para uso del concreto desde su mezclado que en la mayor parte de los casos no concuerda con la realidad.

Finalmente se debe de efectuar el moldeo y curado de probetas para ensayo de compresión; siendo esta una etapa fundamental del control del

concreto fresco, que muchas veces se le resta importancia al convertirse en una rutina en la obra.

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO.- En el concreto endurecido se puede realizar muchos ensayos de tipo destructivo y no destructivo para evaluar sus características en este estado.

El primer control está en el ensayo de compresión simple de briquetas, de conformidad a la norma ASTM C-39.

3.4 Curado del concreto.

Entendiéndose por curado del concreto a la reposición del agua por evaporación que sufre el concreto colocado; este tiene decisiva influencia debido a que incide en la disminución de la resistencia a la compresión del concreto, por ello la actividad de curado es ineludible por lo menos en los primeros catorce días del concreto colocado.

Finalmente debo manifestar que la producción del concreto en la ciudad de Juliaca se descuida significativamente en: calidad de los agregados, procedimiento adecuado de diseño de mezclas, operaciones de mezclado, transporte, colocado, compactado y acabado del concreto; finalmente se descuida el curado apropiado del concreto.

CONCLUSIONES

- Las canteras de agregados para la producción del concreto son de buena calidad y son naturales.
- En la ciudad de Juliaca se tiene la fábrica de cemento puzolanico RUMI; para lo que es necesario tomar las precauciones en su almacenamiento.
- La resistencia a la compresión en la producción del concreto en la ciudad de Juliaca es descuidada; por lo general se emplea el 1: 3; que corresponde a cemento y hormigón.
- En lo que respecta a la colocación del concreto se ha verificado deficiencias sobre todo en la falta de compactación, lo que trae como consecuencia una mayor cantidad de aire atrapado y por ende una disminución de la resistencia a la compresión.
- El proceso de diseño de mezclas del concreto deberá considerar todas las características de la zona donde se produce el concreto.
- En la producción del concreto se debe de alcanzar una adecuada trabajabilidad en el concreto; es decir se deberá efectuar los controles correspondientes en el mezclado, transporte, colocado, compactado y acabado del concreto.
- El curado del concreto es deficiente en las construcciones efectuadas en la ciudad de Juliaca.
- La calidad de los concretos producidos en la ciudad de Juliaca no están expuestos a controles técnicos.

- Tomando en consideración la resistencia a la compresión del concreto, no se efectúa controles en la relación agua/cemento; incrementándose innecesariamente la cantidad de agua a fin de tener más tiempo para los acabados en el concreto.

RECOMENDACIONES

- Las canteras de agregados para la producción del concreto son de buena calidad y son naturales, pero se expondrá a controles técnicos necesariamente.
- En la ciudad de Juliaca se tiene la fábrica de cemento puzolanico RUMI; para lo que es necesario tomar las precauciones en su almacenamiento.
- Se tomara medidas de control así mismo se hará un diseño de mezclas del concreto considerando todas las características de la zona donde se produce el concreto.
- Tener más cuidado al momento del colocado del concreto sobre todo en la compactación del concreto, a fin de tener la menor cantidad de aire atrapado en el concreto.
- En la producción del concreto se debe de alcanzar una adecuada trabajabilidad en el concreto; es decir se deberá efectuar los controles correspondientes en el mezclado, transporte, colocado, compactado y acabado del concreto.
- Se mantendrá humedecido el concreto por lo menos los primeros 28 días después del colocado del concreto.
- Principalmente se tendrá que efectuar un mayor control en la relación agua/cemento ya que el exceso de agua en el concreto disminuye la resistencia del concreto.

BIBLIOGRAFÍA

- A. M. Neville Tomo 1. Tecnología del concreto.
- A. M. Neville Tomo 2. Tecnología del concreto.
- A. M. Neville Tomo 3. Tecnología del concreto.
- Friedrich Eichler. Patología de la Construcción.
- L.J. Murdock. Elaboración del Concreto y sus Aplicaciones.
- Noel J. Everard – John L. Tañer III. Diseño de Concreto Armado.
- Concreto en Clima Frío – Reporte Comité ACI. Capítulo Peruano ACI.
- Comisión Federal de Electricidad. Manual de Tecnología del Concreto- Sección I.
- Comisión Federal de Electricidad. Manual de Tecnología del Concreto- Sección II.
- Comisión Federal de Electricidad. Manual de Tecnología del Concreto- Sección III.
- Lic. Quim. Isabel Díaz – Ing. Gaby Quezada – Ing. Enrique Pasquel. Diagnóstico y Reparación de Estructuras de Concreto Armado – Atacadas por Corrosión.
- Diseño y Construcción de Pavimentos y Pisos de Concreto. Capítulo Peruano ACI.
- Ing. Enrique Rivva López. Control del Concreto en Obra.
- Prof. Carmelo Tejada Rosas. Geografía del Perú y del Mundo.
- Tecnología de la Construcción. Fondo Editorial ICG.
- Ing. Germán Vivar Romero – Ing. Wilfredo Gutiérrez Lazarres. Pavimentos de Concreto y Asfalto Mantenimiento y Reparación.
- Ing. Enrique Rivva López. Concretos de Alta Resistencia.
- Atlas Regional del Perú. Edición Universidad Ricardo Palma.
- Diseño de Mezclas. Edición Universidad Nacional de Ingenierías.
- Prof. Enrique Jimeno Blasco. Análisis de Aguas y Desagües.
- Ing. Enrique Pasquel Carbajal. Tópicos de Tecnología del Concreto.
- PONENCIAS Congreso Nacional de Ingeniería Civil X. Colegio de Ingenieros del Perú.

- PONENCIAS Congreso Nacional de Ingeniería Civil XIII. Colegio de Ingenieros del Perú.
- Ph. D. Walter T. Huang. Petrología.
- F.A. Cotton – G. Wilkinson. Química Inorgánica Básica.
- A.M. Neville – J. J. Brooks. Tecnología del Concreto.
- Prof. Hugo Apaza Quispe. Temas Históricos de Juliaca.
- Prof. David Rojas Caballero. Geología General..
- Cartilla del Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto.
- Compendio Académico de Geografía. Asociación ADUNI.
- L. Germain – L. Colas – J. Rouquet. Tratamiento de Aguas.
- Construcción de Estructuras – Manual de Obra. Cámara Peruana de la Construcción.
- Boletines Técnicos del Concreto. ASOCEM.
- Manual de Productos para la Construcción. The Euclid Chemical Company.
- Estudio de Corrosión en Puentes de Concreto Pre – Esforzados. Instituto Mexicano de Transportes.

ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO

FOTO N° 01



PREPARACION DE CONCRETO ARTESANAL DESTINADO PARA COLUMNAS

FOTO N° 02



PROCESO DE COLOCADO DE CONCRETO EN CIMIENTOS CORRIDOS

FOTO N° 03



PROCESO DE MEZCLADO ARTESANAL DEL CONCRETO DESTINADO PARA VIGAS DE CIMENTACION

FOTO N° 04



MEZCLADO DEL CONCRETO CON EXESO DE AGUA

FOTO N°05



PROCESO DE BATIDO DEL CONCRETO DESTINADO PARA TAPA DE POSO

FOTO N° 06



COLOCADO Y ACABADO DE TAPA DE POSO