

# ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO CON AGREGADOS REGIONALES Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

La reacción álcali-agregado, designada más correctamente como reacción álcali-sílice, fue primeramente reconocida en pavimentos de hormigón en California por el investigador Thomas E. Stanton (1940, 1942) en la División Estatal de Carreteras de California. En este estudio Stanton informó que un 25% de pumicita puede ser efectiva para reducir la expansión. Rogers (1987) describió, que en la Represa del río Montreal, un 20% de cenizas volantes fue usada exitosamente para prevenir las fisuras en el hormigón que contenían argilitas y areniscas llamadas graywackes, siendo éste el primer caso documentado donde se usó una puzolana con un cemento de alto contenido de álcalis y un agregado conocido por ser reactivo.

De acuerdo a la bibliografía consultada, se han informado casos en diferentes países de América del Norte, Europa, Asia y África. En Latinoamérica, se han presentado reacciones como en algunas localizadas en Brasil y Chile. En Perú no se conocen casos, pero tampoco se cuenta con un estudio de Yacimientos de agregados a nivel nacional.

En Bolivia no se conocen casos registrados de estructuras deterioradas por la RAA (Reacción Álcali-Agregado), porque el tema no es de profundo conocimiento en nuestro medio, pero se tienen informes acerca de la existencia de yacimientos de agregados identificados como potencialmente reactivos. En Cochabamba-Bolivia se realizó en julio del 2011 un proyecto de gran importancia en relación a; Análisis petrográfico de verificación de potencialidad reactiva de agregados en presencia de álcalis del concreto y Reactividad álcali agregado, determinación de la mitigación de la expansión en barras de argamasa por el método acelerado.

En la UMSA Universidad Mayor de San Andrés en La Paz se realizó un trabajo de investigación acerca de INHIBICIÓN DE LA RECCIÓN ÁLCALI - AGREGADO UTILIZANDO PUZOLANA NATURAL elaborado por María del Carmen Cenzano, Ángel Ramos Maita y Cesar Ramiro Ulo Quispe; donde se muestra la reactividad de agregados del yacimiento de Palca Grande-Camargo del departamento de Chuquisaca.

## 1.2. El problema

### 1.2.1 Planteamiento

Existen varios procesos que hacen que los constituyentes del concreto se desintegren; sean forzados a apartarse a través de mecanismos de cambio de volumen expansivos ó se desgasten a través de abrasión o cavitación. Las exposiciones a químicos agresivos (ya sean artificiales o naturales) pueden provocar que el concreto altere su composición química, dando como resultado cambios en sus propiedades mecánicas.

La resistencia y durabilidad del hormigón depende mucho de sus materiales constituyentes; los agregados, cemento y agua. Estos elementos constituyentes muchas veces son expuestos a agentes químicos y ambientales dando origen a problemas de deterioro de estructuras. El agua puede ser uno de los ambientes más agresivos que causan la desintegración.

No todos los mecanismos de desintegración son causados por factores externos. Las reacciones álcali-agregado, están internamente contenidas dentro del concreto originalmente elaborado. Tales reacciones dan como resultado la **expansión** del agregado afectado.

En nuestro país se ha detectado agregados reactivos en Camargo y se identificaron obras que presentan posibles síntomas debidas a la reacción álcali-agregado.

Las principales causas que originan este problema pueden ser; excesiva presencia de álcalis en el cemento, durante la fabricación del concreto con agregados considerados

reactivos, falta de control en los yacimientos de agregados considerando su reactividad con el álcali y agentes externos como la humedad o temperatura.

De seguir presente estas causas el concreto sufrirá fisuras y agrietamientos severos en estructuras y pavimentos de concreto, que traerán consigo pérdidas económicas por rehabilitaciones y mantenimiento, por lo que se hace necesario plantear como solución las siguientes alternativas:

- Controlar e inspeccionar los yacimientos de agregados de la región que presenten reactividad con el álcali.
- Controlar la reacción álcali-agregado con materiales y agregados cementantes disponibles en la región.
- Estudiar la influencia del álcali-agregado en la resistencia y durabilidad del hormigón.
- Analizar y determinar la reactividad de los agregados regionales con el álcali; seleccionando los agregados reactivos y no reactivos y su influencia en la resistencia del hormigón.

### 1.2.2 Formulación

**¿Cómo y porque puede influir la reacción álcali-agregado en el hormigón con materiales de nuestra región y de qué manera se puede prevenir?**

El hormigón puede estudiarse a través de factores internos que afectan su resistencia y durabilidad, reacciones que dan como resultado la expansión del agregado afectado. Si se conociera el grado de reactividad de los agregados regionales y cómo influyen en la resistencia y durabilidad del hormigón; de manera preventiva se pueden emplear en la construcción agregados aptos y analizados que no sean potencialmente reactivos al álcali.

### 1.2.3 Sistematización

De acuerdo a las alternativas planteadas en 1.2.1; la primera disyuntiva de controlar e inspeccionar los yacimientos de agregados requiere de un control continuo, siendo un

procedimiento complicado al necesitar un encargado o una entidad encargada de inspeccionar e intervenir en estos controles. La segunda alternativa de controlar la reacción álcali-agregado es un método de mantenimiento que muchas veces es costoso en tiempo y dinero.

En esa perspectiva en nuestro medio no existe un estudio sobre la reacción álcali-agregado desde el punto de vista de la durabilidad y la resistencia del hormigón, como tampoco información acerca de la reacción álcali-agregado de agregados de la región que usualmente se emplean para la construcción.

No existe todavía una solución de reparación de las estructuras afectadas por esta reacción, por lo que, para asegurar la durabilidad de las estructuras frente a esta reacción, es necesario tomar medidas preventivas y seguir las recomendaciones en la elección de los materiales, sea mediante la utilización de áridos no reactivos a los álcalis o el control de la humedad, para evitar una multitud de problemas futuros en la construcción y la economía nacional ya que en países desarrollados y en vía de desarrollo se invierten miles de millones de dólares en mantenimiento y rehabilitación de obras de infraestructura.

De esa manera se opta por elegir la alternativa de **determinar y analizar la reactividad de los agregados regionales con el álcali, seleccionando los agregados reactivos y no reactivos y su influencia en la resistencia y durabilidad del hormigón.**

### 1.3. Objetivos

El trabajo de investigación pretende lograr a los siguientes objetivos:

#### 1.3.1 Objetivo general

Realizar una investigación que permita determinar la posible potencialidad reactiva de los agregados de las canteras de Rancho, Temporal, Santa Ana y Camacho del departamento de Tarija que usualmente se emplean en la conformación de estructuras de hormigón, con la finalidad de establecer elementos técnicos que proporcionen información sobre factores internos que afectan a las propiedades del hormigón y de

alguna manera prevenir una multitud de problemas que afectan al concreto a partir de la reacción álcali-agregado.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- ✓ Realizar el ensayo químico ASTM C-289 y el método de la barra de mortero ASTM C- 1260 que permitan determinar la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados de la región.
- ✓ Establecer la evaluación de las características de los agregados en base a ensayos estándar para obtener una mezcla efectiva y resistencias influenciadas por todas sus características.
- ✓ Efectuar mezclas de hormigón con una misma dosificación para todos los agregados que muestren resistencias influenciadas por sus características principales y su grado de potencialidad álcali-agregado.
- ✓ Establecer un análisis comparativo entre resistencias de hormigón con agregados de la región que puedan poseer reactividad al álcali del cemento y el efecto que producen a su resistencia a través de la reacción álcali-agregado.

## **1.4. Justificación**

El trabajo de investigación se elabora por las siguientes razones:

### **1.4.1 Académica**

El trabajo de investigación permite encontrar soluciones preventivas a reacciones que sufre el hormigón y como el tema no está muy investigado; practicar un análisis más completo sobre las consecuencias de la reacción del álcali-agregado al concreto y los mecanismos que provocan este fenómeno interno en el hormigón, como también brindar información sobre dicho tema estudiado para nuestro medio con datos del grado de reactividad de agregados de nuestra región; para prevenir de alguna manera

problemas posteriores de expansión, fisuras y agrietamientos en estructuras de concreto.

#### **1.4.2 Técnica**

Existen varios mecanismos de desintegración a través de cambios de volumen expansivos que sufre el concreto causando que muchas estructuras se deterioren y no cumplan correctamente su funcionalidad. La reacción álcali-agregado puede crear expansión y agrietamiento severo en estructuras y pavimentos de concreto; estos mecanismos que causan reacciones álcali-agregado no han sido entendidos completamente y no es de profundo conocimiento en nuestro medio para controlar y prevenir inconvenientes posteriores con el concreto que afectan a su resistencia y durabilidad.

En nuestro medio los cementos portland puzolánicos (Tipo IP) producidos en nuestro país, tienen la capacidad de inhibir la expansión causada por la reacción álcali-sílice, como también los yacimientos de agregados de nuestro medio pueden ser reactivos con los álcalis del cemento que en su composición química ya contiene álcali.

#### **1.4.3 Social**

El trabajo de investigación propone en base a teorías existentes, contribuir con innovaciones técnicas y académicas, para ampliar conocimientos de temas de mucha importancia para el concreto, sobre todo temas preventivos para la durabilidad del hormigón y así evitar gastos económicos en rehabilitaciones y mantenimiento de estructuras.

#### **1.5. Hipótesis**

- ✓ Si los agregados empleados para mezclas de hormigón tienen características de reaccionar con el álcali del cemento; entonces las mezclas pueden cambiar sus propiedades causando aumentos de volumen, reducción de resistencia y deterioros en estructuras.

## 1.6. Alcance de estudio

### 1.6.1 Medios y metodología

El tipo de estudio es una aplicación investigativa en la cual se ejecutarán ensayos de laboratorio, basado en el ensayo ASTM C1260 Método de la barra de mortero y el ensayo ASTM C 289 Método Químico; para determinar la posible reactividad álcali-agregado de los agregados naturales de algunas canteras de la región. El mismo quedará delimitado en una línea de investigación experimental con la elaboración de probetas de hormigón con los mismos agregados se analizaran su resistencia a los 28 días en relación a la reactividad potencial de los áridos.

A continuación se muestra el desarrollo de la investigación:

- Materialización de ensayos químicos que permitan determinar la reacción álcali-agregado en el hormigón, según la norma ASTM C289.
- Con la norma ASTM C1260 se practicarán las pruebas necesarias para detectar el potencial de un agregado para ser sometidos a la reacción álcali-sílice es decir para disponer si son reactivos o no al álcali del cemento.
- Elaboración de mezclas con diferentes agregados cuya reacción álcali-agregado potencialmente sea diferente a partir del origen del agregado.
- Evaluación y comparación entre agregados de la región empleados para los ensayos que puedan poseer reactividad con el álcali, además la influencia en la resistencia y durabilidad del hormigón a través de la expansión de las probetas de hormigón de acuerdo a los resultados adquiridos.

### 1.6.2 Restricciones y limitaciones

- Según la norma ASTM C1260 y ASTM 289; se efectuarán las pruebas imprescindibles con equipos del laboratorio de hormigón, como también del laboratorio de química.

- En cuanto a los materiales requeridos para las mezclas y para los ensayos de determinación de la reacción álcali-agregado; se utilizarán cuatro diferentes tipos de bancos de agregados naturales regionales.

## CAPÍTULO II. ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN Y SU RELACIÓN CON LA PROPIEDAD ÁLCALI-AGREGADO.

### 2.1. Concepto general del hormigón

El hormigón es el producto resultante de la mezcla homogénea de pasta de un aglomerante, arena, grava o piedra machacada y agua, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo adquiriendo su resistencia de trabajo a la edad de 28 días.

El concreto cuyas características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía, lo han convertido en el material de construcción más utilizado en el mundo, se puede definir como una piedra artificial formada por cemento portland, agregados, agua y aire.

Con una idea muy general se puede hablar de que los integrantes del concreto se encuentran distribuidos tomando como base su peso en los porcentajes siguientes:

Pasta (cemento + agua) de un 23 a un 25 %, agregados (grava y arena) de 73 a 75% y aire atrapado 2%.

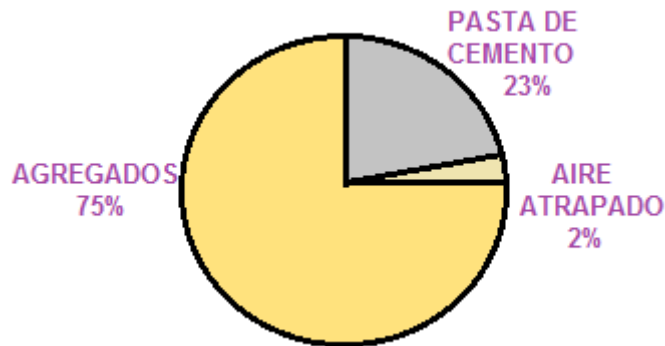


FIG. II-1 COMPONENTES DEL CONCRETO EN PORCENTAJE

FUENTE REF. *Tecnología del concreto. Juan Luis. Cottier Caviedes. Pag.340*

El concreto es sin lugar a dudas el material mayormente empleado en la construcción, gracias a su fácil moldeo, su facilidad de incorporar otros materiales y su costo relativamente bajo, no ha perdido vigencia hasta la fecha y es considerado el material más popular y requiere de actividades bien definidas y cuidadosamente supervisadas

para lograr el éxito garantizando el cumplimiento de su resistencia a compresión simple, estabilidad volumétrica, su durabilidad etc.

## **2.2. Concepto, Características y Propiedades de los materiales componentes del hormigón.**

### **2.2.1 Agregados**

Los agregados son el material inerte que se añaden a la pasta de cemento ocupan la mayor parte en el concreto un 75% de su volumen y su influencia es de primer orden en el comportamiento del concreto tanto en su estado fresco como endurecido, sin embargo la experiencia señala que la mayoría de los agregados son activos cuando se combinan con el cemento, agua y aditivos. Esta actividad puede involucrar cambios físicos, químicos o térmicos o combinación de los mismos.

Ellos son materiales granulares, que provienen la mayor parte de veces de roca natural, roca chancada o grava natural y arena. Aunque no son los únicos materiales usados como agregados, ellos son los de mayor uso.

Los agregados pueden limitar la resistencia del concreto pero más frecuentemente afectan la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto.

Son características de los agregados, su peso específico, su peso unitario compactado y suelto (incluyendo los espacios vacíos). Los agregados se suponen limpios, secos, saturados y sueltos. Su absorción puede llegar al 25 % de su propio peso. No deben contener partículas sueltas, ni deben ser chatos, alargados o blandos.

Por su forma, los agregados pueden ser esféricos o poliédricos, debiendo desecharse aquéllos de forma lajosa, alargada, por su menor resistencia. Por su textura, son mejores aquéllos de superficies rugosas por brindar mejor adherencia. En cambio, los de superficies lisas mejoran la trabajabilidad del hormigón.

Es de vital importancia considerar las características de los agregados para ser incluidos en el concreto. Las características de los agregados que influyen en el concreto se evidencian en la siguiente tabla.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS QUE INCIDEN EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO</b>	
<b>Propiedades del concreto</b>	<b>Características de los agregados</b>
Durabilidad	Composición mineralógica
Resistencia	Textura superficial
Cambio de volumen	Módulo de elasticidad
Peso específico	Coefficiente de dilatación térmica
Módulo de elasticidad	Resistencia a la tensión
Resistencia al desgaste	Absorción
Dosificación	Permeabilidad
Trabajabilidad	Estructura de los poros
Bombeabilidad	Estabilidad de volumen
Acabado del concreto	Granulometría
Tiempo de fraguado	Tamaño máximo
Exudación	Finos
Economía	Forma
	Estabilidad química
	Sales solubles
	Adherencia en los granos
	Partículas de arcilla
	Materia orgánica
	Sensibilidad al agua
	Solubilidad en agua

*TABLA II-1 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS QUE INSIDEN EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO*

*FUENTE: Tecnología del concreto. Juan Luis. Cottier Caviedes. Pág.340*

Los áridos constituyen el esqueleto del hormigón, y son responsables de buena parte de las características del mismo pues son un elemento mayoritario.

Los áridos deben estar constituidos por partículas duras, de formas adecuadas (sin formas lajosos o aciculares), inertes y no reactivas con los álcalis del cemento. Además, no deben contener arcillas, limos ni materias orgánicas. No deben ser heladizos, es decir, no deben deteriorarse con los ciclos de heladas.

En general, los áridos de baja densidad son pocos resistentes y porosos.

Normalmente los áridos se clasifican en fracciones definidas por su tamaño máximo y su tamaño mínimo. El tamaño máximo de 5 mm. Marca la separación entre arenas (árido fino) y gravas (árido grueso).

### 2.2.1.1. Granulometría y forma

La granulometría, forma y tamaño de los áridos influyen sobre su resistencia y calidad del hormigón.

Para conseguir una granulometría adecuada se debe dosificar los áridos, de manera que se obtenga una granulometría lo más continua y compacta posible. Para conseguirlo debe separarse en diferentes fracciones, para que estas puedan ser mezcladas en las proporciones adecuadas.

En la tabla II-2 se recogen las condiciones mínimas que deben cumplir los áridos para su empleo en hormigones.

CARACTERÍSTICA	ÁRIDO FINO	ÁRIDO GRUESO
<b>DUREZA</b>		
Partículas blandas (UNE 7,134)	-	<% 5
Dureza de la arena (UNE 83,115)	≤ 40	-
Desgaste del árido (UNE 83,116)	-	≤ 40
<b>LIMPIEZA</b>		
Terrones de arcilla (UNE 7,133)	< 1	< % 52,0
Equivalente de arena (UNE 83,131)	> 57	-
Partículas ligeras (UNE 7,244)	< 0,5	< 1
<b>RESISTENCIA AL HIELO</b>		
Absorción de agua (UNE 83,133 y 83,134)	≤ 5 %	
Ciclos con sulfato sódico (UNE 7,136)	< % 51	< % 51
Ciclos con sulfato magnésico (UNE 7,136)	< 12	< % 81
<b>SUSTANCIAS PERJUDICIALES</b>		
Compuestos de azufre (UNE 83,120)	< % 4,0	< % 4,0
Reactividad con los álcalis (UNE 7,137)	NO	

*TABLA II-2 CONDICIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS A CUMPLIR POR LOS ÁRIDOS*

*FUENTE: Manual de consejos prácticos sobre el hormigón, ANEFHOP, Pag.17*

El contenido de partículas muy finas (de tamaño inferior a 0,08mm) en el árido, obliga a aumentar la cantidad de agua necesaria para alcanzar una docilidad dada del hormigón, disminuyendo en consecuencia las resistencias finales de éste. Por esta razón dicho contenido se limita a los siguientes valores:

- Árido grueso < 1%
- Árido grueso calizo de machaqueo < 2%
- Árido fino < 6%
- Arenas calizas de machaqueo < 15% Condiciones normales < 10% ciclos hielo-deshielo o en ambientes marinos

En nuestro medio es común el uso de dos tipos de agregados; agregado fino (arena) y material grueso (grava).

#### **2.2.1.1.1 Arena**

Es el material granular fino resultado de la desintegración natural de rocas o del triturado de agregado grueso. Existen varias definiciones de tamaños para partículas de arena. La más común en nuestro medio explica a la arena como aquel material granular que pasa la malla N°4(malla con abertura 1/4”), y se retiene en la malla N°200.

Existen varios tipos de arenas, cada una de las cuáles con características de graduación diferentes.

#### **2.2.1.1.2 Grava**

Es el producto de la desintegración de grandes rocas. Son partículas más grandes que las arenas: El punto de división generalmente en el de malla N°4.

Existen diferentes tipos de gravas entre los cuáles se puede mencionar a gravilla, grava de río, grava de banco, asimismo existe la piedra triturada que es resultado del machaqueo mecánico de piedra sólida.

#### **2.2.1.2 Propiedades de los agregados**

### 2.2.1.2.1. Propiedades físicas

#### a. Densidad

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario.

Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

#### b. Porosidad

La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más trascendentales propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

#### c. Peso Unitario

Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos.

#### d. Porcentaje de Vacíos

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29.

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(S * W - PUC)}{S * W} * 100$$

Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C. = Peso Unitario Compactado seco del agregado

### **e. Humedad**

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(\text{Peso natural} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} * 100$$

### **2.2.1.2.2. Propiedades resistentes**

#### **a. Resistencia**

La resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; la textura la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia. Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante.

#### **b. Tenacidad**

Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material.

#### **c. Dureza**

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La consistencia de las partículas depende de sus constituyentes.

Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarzita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

#### **d. Módulo de elasticidad**

Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones. El módulo elástico se delimita en muy inusual su determinación en los agregados sin embargo el concreto experimentara deformaciones por lo que es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse.

<b>VALORES DE MÓDULOS ELÁSTICOS</b>	
<b>TIPO DE AGREGADO</b>	<b>MÓDULO ELÁSTICO</b>
<b>Granitos</b>	610000 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Areniscas</b>	310000 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Calizas</b>	280000 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Diabasas</b>	860000 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Gabro</b>	860000 Kg/cm <sup>2</sup>

*TABLA II-3 VALORES DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD*

*FUENTE:* <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados2.shtml#ixzz2f7G62uJ2>

#### **2.2.1.2.3. Propiedades térmicas:**

##### **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.

En los agregados secos es alrededor de un 10% mayor que en estado parcialmente saturado. Los valores oscilan normalmente entre  $0.9 \times 10^{-6}$  a  $8.9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ .

##### **b. Calor específico**

Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en un grado centígrado la temperatura. No varía mucho en los diversos tipos de roca salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos.

#### **c. 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 generar cambios térmicos dentro de una masa. Se expresa como el cociente de dividir la conductividad entre el producto de calor específico por la densidad.

### **2.2.1.2.4. Propiedades químicas**

#### **a. Reacción Álcali-Sílice**

Los álcalis en el cemento están constituidos por el Oxido de sodio y de potasio quienes en condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo Normalmente para que se produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden del 0.6% temperaturas ambientes de 30°C y humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción.

Existen pruebas de laboratorio para evaluar estas reacciones que se encuentran definidas en ASTM C227, ASTM C289, ASTM C-295 y que permiten obtener información para calificar la reactividad del agregado.

#### **b. Reacción Álcali-carbonatos**

Se produce por reacción de los carbonatos presentes en los agregados generando sustancias expansivas, no es muy común este tipo de reacción.

Los procedimientos para la evaluación de esta característica se encuentran normalizados en ASTM C-586.

### 2.2.2 Cemento

Se denomina cemento a la sustancia aglomerante que combinado con agregados forma la pasta de hormigón o morteros. A continuación se procede a indicar los cementos más comunes y usados en la región

- a. **Cemento hidráulico:** Cemento que fragua y endurece por la interacción química con el agua, tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables.
- b. **Cemento Pórtland:** Un cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker Pórtland, usualmente en combinación con sulfato de calcio.

#### 2.2.2.1. Tipos de cementos (según la NB 011)

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos. La norma boliviana (NB-011) clasifica los tipos de cemento según un código compuesto de dos partes. Las dos primeras letras clasifican al cemento según los materiales usados para su fabricación como se ve a continuación:

TIPO DE CEMENTO			PROPORCIÓN EN MASA, EN %			
			Componentes principales			Componentes adicionales
Denominación	Designación	Tipo	Clinker	Puzolana	Filler	
<b>Cemento Portland</b>	Portland	I	95 a 100			0 a 5
	Portland con puzolana	IP	60 a 94	6 a 40		0 a 5
	Portland con filler calizo	IF	65 a 94		6 a 35	0 a 5
Cemento puzolánico		P	45 a 60	40 a 55		0 a 5

TABLA II-4 TIPO DE CEMENTO

FUENTE: Norma boliviana NB-011

El número que se ve a continuación del código representa el valor de resistencia a compresión mínima para un ensayo normalizado (NB-470). EL CEMENTO IP-30, que es el más comercial en nuestro medio representa un cemento Portland Tipo Puzolánico con una resistencia a compresión de 30 MPa a los 28 días de edad.

Es importante resaltar que la norma boliviana cumple la clasificación de resistencia a compresión de la norma ASTM (Norteamérica) y no se debe confundir con la norma UNE (Europa) que utiliza una escala diferente. El Cemento IP-30 es equivalente al CEM II-B de 42,5 MPa de resistencia en Europa. La diferencia en la resistencia se debe al tipo de ensayo y preparación de las muestras, sin embargo es importante aclarar que el cemento sigue siendo el mismo.

Desde el punto de vista químico todo cemento trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, adquiridos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente. Alcanzando así su resistencia característica.

En Bolivia sólo se fabrican los cementos del Tipo I, y IP. El TIPO I es un cemento común, para usos generales, es el que más se emplea para fines estructurales cuando no se requieren de las propiedades especiales especificadas para los otros cuatro tipos de cemento.

En las siguientes tablas se muestran diferentes particularidades para los cementos Tipos I.

ESPECIFICACIONES	NORMA BOLIVIANA NB 011	NORMA ESPAÑOLA UNE 80-301
<b>Tipo</b>	I	I
Categoría resistente	40	45
<b>Composición</b>		
clinker %	95-100	95-99
componentes adicionales %	0 a 5	1 a 5
<b>Requerimientos Químicos</b>		
Perdidas por calcinación, % Max.	5	5
Residuo insoluble, % Max.	3	5
Trióxido de azufre, % Max.	3,5	4,5
Oxido de magnesio, % Max.	6	-
<b>Requerimientos físicos</b>		
Resistencia a la compresión, Mpa		
Mínima a los: 3 días	17	-
7 días	25	30
28 días	40	45
<b>Fraguado Vicat</b>		
Mínimo inicial, Minutos	45	60
Máximo final, Horas	10	12
Superficie específica mínima, cm <sup>2</sup> /g	2600	-
<b>Expansión</b>		
Autoclave, % máximo	8	-
Le Chatelier, mm máx.	10	10

TABLA II-5 COMPARACIÓN DE NORMAS INTERNACIONALES, PARA CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO PÓRTLAND TIPO 140

FUENTE: Norma Boliviana 011

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (NB 061)	TIPO DE CEMENTO			
	I	IP	IF	P
Perdida por calcinación (% máx.)	5	7	7	8
Residuo insoluble (% máx.)	3	-	5	-
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) (% máx.)	3,5	4	4	4
Oxido de magnesio (MgO) (% máx.)	6	6	6	6
Puzolanicidad 8 o 15 días	-	-	-	> 0

TABLA II-6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LOS CEMENTOS

FUENTE: NORMA BOLIVIANA 011

### 2.2.3 Agua

Si bien es imprescindible la presencia del agua para producir la reacción química del cemento, su exceso durante el proceso de fraguado es perjudicial para la resistencia final del hormigón. Cuanto menos agua se incorpora a la mezcla, más resistencia y más impermeabilidad se obtendrá y por lo tanto el hormigón será de más durabilidad. Pero al mismo tiempo, cuanto menos agua se utiliza, menos trabajabilidad tendrá la mezcla, dificultando el proceso de llenado de los encofrados. En cambio, durante el endurecimiento del hormigón, es necesario mantener la presencia de agua para que se siga produciendo la reacción química.

Este procedimiento se denomina "curado" del hormigón y debe prolongarse el mayor tiempo posible a fin de incrementar la resistencia y durabilidad.

Si las aguas de mezclado contienen compuestos solubles o expansivos, pueden destruir el hormigón. El agua también es nociva en los procesos de congelación por bajas temperaturas, ya que el aumento de volumen resultante puede originarse en la destrucción del hormigón.

Las condiciones que debe reunir el agua de mezclado son el ser químicamente pura, potable, no contener azúcares, aceites ni sales. De no tenerse la seguridad de la potabilidad del agua, debe practicarse un ensayo, comparando el tiempo de fraguado de la mezcla con el tiempo de fraguado con mezcla con agua potable, verificando las diferencias que resulten entre el inicio del proceso de fragüe (dos horas, aproximadamente) y su terminación (alrededor de las siete horas).

También puede compararse la resistencia final mediante el empleo de probetas materializadas con mezcla con el agua a utilizar y otras realizadas con aguas conocidas y su posterior ensayo. Una diferencia en más o en menos del diez por ciento resulta aceptable.

### 2.2.4. Aditivos

Los aditivos son aquellos productos o sustancias que se incorporan al hormigón en una proporción inferior al 5% del peso del cemento, para modificar alguna de sus

características, propiedades o comportamiento en estado fresco y/o endurecido. Deben ser siempre suministrados con garantía del fabricante de los mismos.

Como el comportamiento de los aditivos puede variar con las condiciones particulares de cada obra, con el tipo y dosificación de cemento, con la naturaleza de los áridos, etc., es conveniente la realización de los ensayos oportunos en cada caso.

Hay aditivos que modifican las propiedades del hormigón en estado fresco, y otros que actúan durante la fase de fraguado y endurecimiento.

### **2.3. Dosificación de mezclas.**

Al dosificar un hormigón deben tenerse en cuenta tres factores fundamentales, a partir de los cuales se han de delimitar las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos para obtener el hormigón deseado al más bajo costo posible.

- ✓ La resistencia
- ✓ La consistencia
- ✓ El tamaño máximo del arido

Orden a seguir en la dosificación de un hormigón:

1. Fijar la resistencia característica del hormigón de acuerdo con las condiciones previstas para la ejecución de la obra.
2. Elegir el tipo de cemento, en función de la clase de obra, la agresividad del medio y las condiciones climáticas.
3. Establecer la relación agua/cemento que corresponda a la resistencia media del hormigón, según el tipo de cemento y áridos empleados.
4. Determinar el tamaño máximo del árido, en función de los distintos elementos de la obra.
5. Estudiar la consistencia más conveniente del hormigón, según la forma de compactación en obra y, como consecuencia, fijar la cantidad aproximada de agua y determinar la cantidad de cemento correspondiente.

6. Establecer la proporción en que han de mezclarse los áridos disponibles, para que la curva granulométrica del árido total sea la más conveniente al hormigón en estudio.
7. Calcular las cantidades de agua, cemento y áridos necesarias para obtener un metro cúbico de hormigón.
8. Efectuar unas masas de prueba para comprobar si el hormigón obtenido tiene las características deseadas y, en caso contrario, hacer las correcciones necesarias.

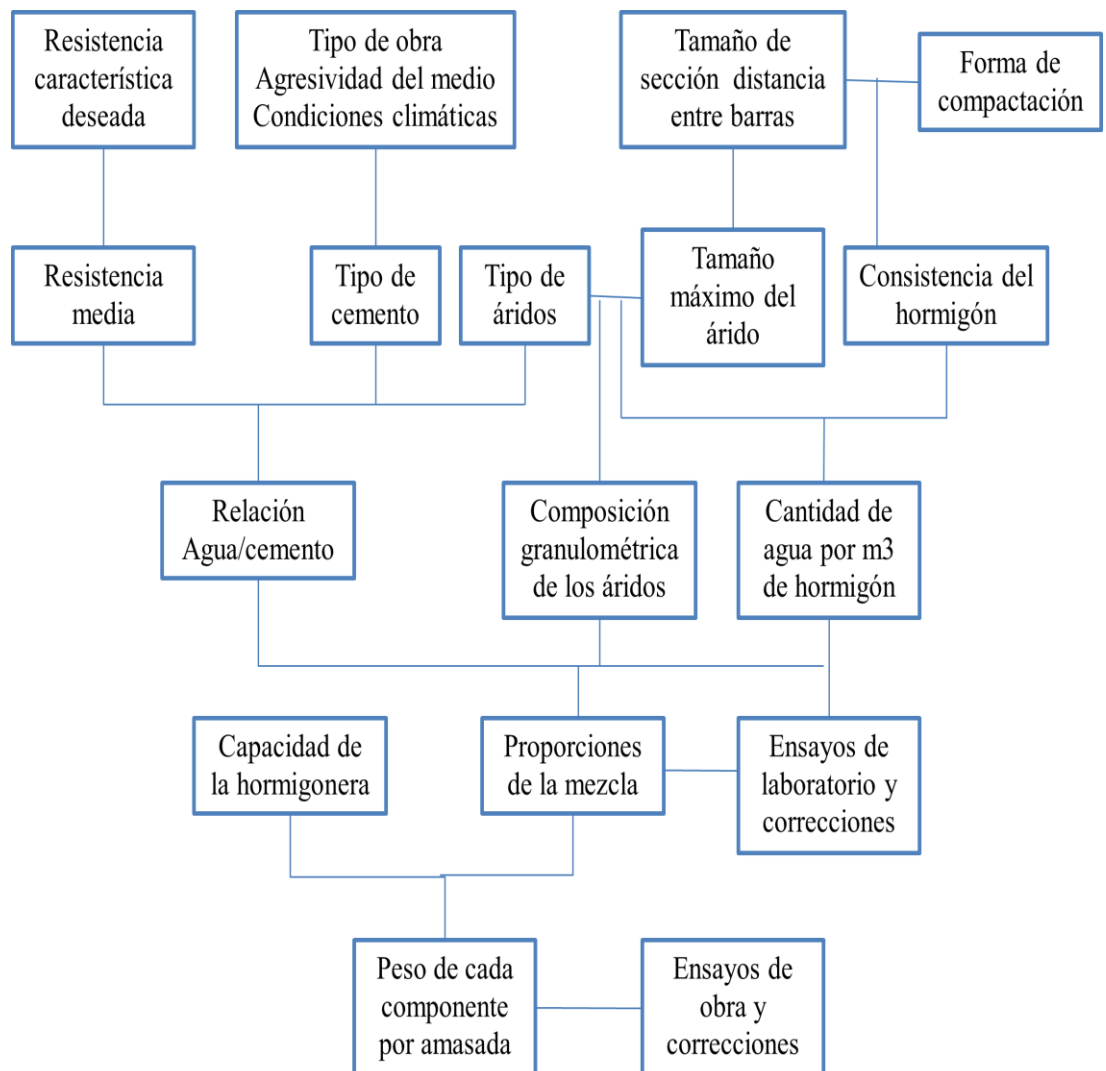


FIG. II-2 ESQUEMA DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN  
 FUENTE: JIMENES MONTOYA, GARCIA MESSEGUER, MORAN CABRÉ.

### 2.3.1 Método de dosificación

Existen varios métodos para la dosificación de hormigones, en este estudio emplearemos el método de la ACI.

#### 2.3.1.1. Conceptos generales

El comité 211 del ACI ha desplegado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas tablas elaboradas mediante ensayos de los agregados, nos permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica del concreto.

Es usual que las características de la obra establezcan limitaciones a quien tiene la responsabilidad de diseñar la mezcla. Entre dichas limitaciones pueden estar:

- ✓ Relación agua cemento.
- ✓ Contenido de cemento.
- ✓ Contenido máximo de aire
- ✓ Asentamiento.
- ✓ Tamaño máximo del agregado grueso.
- ✓ Resistencia en compresión mínima.

#### 2.3.1.2. Secuencia de diseño

- 1) Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada.
- 2) Selección de tamaño máximo de agregado.
- 3) Selección del asentamiento.
- 4) Selección del volumen de agua de diseño.
- 5) Selección de la relación agua-cemento, por resistencia y durabilidad.
- 6) Determinación del contenido de agregado grueso.
- 7) Determinación de volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso.
- 8) Determinación del volumen absoluto del agregado fino.

- 9) Determinación del peso seco del agregado fino.
- 10) Determinación de los valores de diseño del cemento, agua aire agregados finos y gruesos.
- 11) Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- 12) Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra

#### 2.4. Reacción Álcali- Agregado

Las condicionantes de la durabilidad del hormigón pueden tener origen química o física. Las causas químicas de la degradación del hormigón son (Santos Silva, 2007):

- ✓ Ataque por el agua del mar.
- ✓ Ataque por sulfatos.
- ✓ Ataque por el agua dulce y medios ácidos.
- ✓ Ataque bioquímico.
- ✓ Corrosión de la armadura.
- ✓ Reacciones expansivas internas.

La **reacción álcali-agregado** esta englobada en las reacciones expansivas internas del hormigón que ha sido objeto de numerosas investigaciones desde su identificación en California (stanton, 1940, Stanton et al. 1942, Hansen 1944, MC Connell el al, 1950, Pepper and Mather, 1959, Hadley 1960, Swenson, 1973, Veronelli, 1975, Ming Shu, T., y su Fen, H, 1980, Gillot, 1986, Holderbank, 1986).

El hormigón es un material de construcción que está sujeto a numerosas manifestaciones patológicas y el origen más común está relacionado con los materiales que lo componen como el cemento, los agregados, el agua y las adiciones. Determinados agregados reaccionan con los cementos Portland dando expansiones peligrosas para el hormigón. Una reacción muy importante es la que puede producirse entre los álcalis del cemento y ciertos agregados que contengan sílice reactiva, siempre que existan condiciones adecuadas de humedad.

La reacción entre la sílice de los agregados y los álcalis está en razón directa a su hidratación. Los factores que influyen en esta reacción son múltiples y dependen de la

cantidad total de álcalis, dosificación de cemento, finura del cemento, granulometría del agregado, reactividad de los mismos, humedad y temperatura. (Manuel Fernández Canovas, 1993)<sup>1</sup>.

Las reacciones álcali-agregado (AAR) pueden crear expansión y agrietamiento severo en estructuras y pavimentos de concreto. Los mecanismos que causan reacciones álcali-agregado no han sido entendidos completamente. Lo que se conoce acerca de este tipo de reacción es que ciertos agregados reactivos, reaccionan con el hidróxido de potasio, sodio y calcio que están en el cemento, generando un gel alrededor de los agregados reaccionantes.<sup>2</sup>

Cuando el gel alrededor del agregado es expuesto a humedad, se expanden, creando fuerzas que causan grietas por tensión y que se forman alrededor del agregado. (El contenido de humedad del concreto debe ser de aproximadamente 80%: humedad relativa a 70° F -75° F (21°C-24°C)).

El concreto no confinado que experimenta AAR muestra algunos signos de aviso de agrietamiento superficial tipo “mapas” sobre las superficies expuestas. Una vez que se ha formado el agrietamiento, mas humedad penetra en el concreto acelerando la reacción álcali-agregado y permitiendo daño adicional por congelación y deshielo.

La reacción álcali-agregado puede pasar inadvertida por algún tiempo posiblemente años, antes de que se desarrollen severos trastornos asociados.

---

<sup>1</sup> “Determinación de reactividad potencial álcali-agregado por el método acelerado de las barras de mortero”, ACOSTA Augusto, VILLALBA José, ROJAS Roberto, CABRERA Ricardo,

<sup>2</sup> “Manual ilustrado de reparación y mantenimiento del concreto”, Instituto Mexicano del concreto y del cemento, Primera edición 2005. EMMONS Peter H.

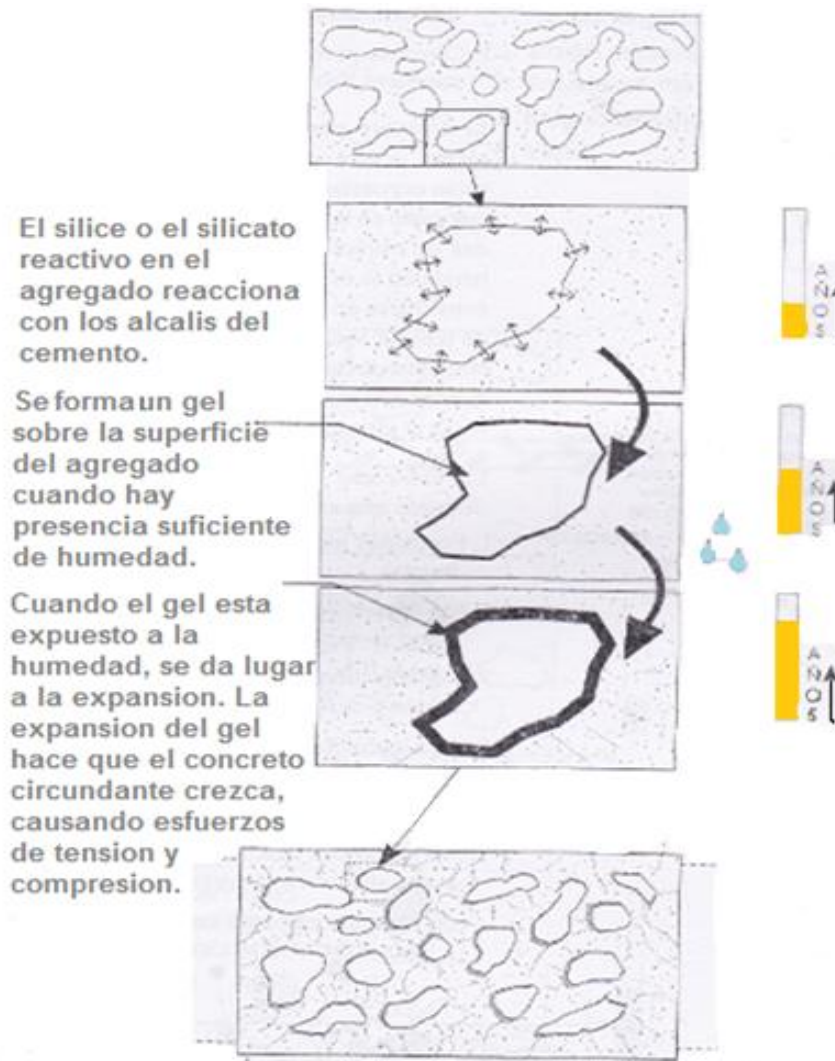


FIG. II-3 REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO

FUENTE: "Manual ilustrado de reparación y mantenimiento del concreto", Instituto Mexicano del concreto y del cemento, Primera edición 2005. EMMONS Peter H. Pág. 24

Existen muchas medidas utilizadas actualmente para controlar y evitar los efectos dañinos de esta reacción en el hormigón; entre estas se encuentran las adiciones químicas como las sales de litio y las adiciones minerales como la puzolana natural, materiales cementantes suplementarios incluyen cenizas volantes, escoria granulada de alto horno, sílice activa (humo de sílice y micro sílice).

Este fenómeno conocido con el nombre de **álcali agregado**, ha recibido en los últimos años mucha atención en nuestro medio ya que en algunas partes del país se pueden encontrar agregados potencialmente reactivos.

A continuación vamos a definir la **reacción álcalis-sílice** en dos partes:

### 2.4.1. Álcalis<sup>3</sup>:

Son sustancias cáusticas que se disuelven en agua formando soluciones con un pH bastante superior a 7 (al neutro): Amoníaco, hidróxido amónico, hidróxido y óxido cálcico, hidróxido de potasio, hidróxido y carbonato potásico, hidróxido de sodio, carbonato, hidróxido, peróxido y silicatos sódicos y fosfato trisódico.

Los álcalis (iones Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>) son generalmente aportados por el cemento pórtland - aunque es posible que adicionalmente ingresen a través del resto de los materiales componentes o desde el exterior a través del agua o suelo de contacto y pueden reaccionar con ciertos componentes potencialmente reactivos de algunos agregados (cuarzo tensionado, chert, calcedonia, ópalo, vidrio volcánico, arcillas, etc.).<sup>4</sup>

Se acostumbra calcular el contenido total de álcalis en el cemento como el equivalente de Na<sub>2</sub>O mediante la siguiente expresión:

$$\text{Equivalente de \% Na}_2\text{O} = \% \text{Na}_2\text{O} + (0,658\% \text{K}_2\text{O})$$

Se ha estimado hasta ahora un contenido total de álcalis de 0.6% como el límite superior aceptable para cemento que se utilicen en la fabricación de concreto con agregados considerados reactivos.

Es importante conocer que los álcalis pueden resultar de la reacción del hidróxido de calcio formado por la **hidratación del cemento** como el álcali de los minerales insolubles en el agregado, o de fuentes externas como el agua usada en la preparación del concreto, los aditivos, aguas subterráneas, o sales alcalina solubles en los agregados.

El exceso de álcali contenido en los poros del concreto endurecido, por encima de los necesarios para las reacciones normales de fraguado, da lugar a productos de reacción

---

<sup>3</sup> Reacción álcali agregado Un ensayo importante en la tecnología del concreto, 2013. Jesús David Osorio.

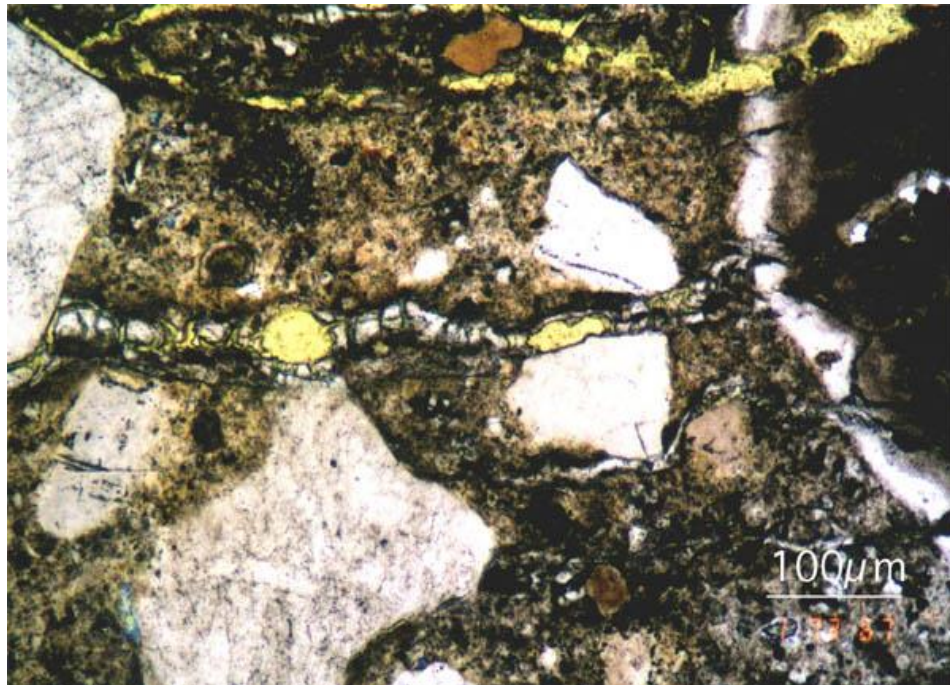
<sup>4</sup> REACCIÓN ÁLCALI –SÍLICE. Introducción al Conocimiento y Recomendaciones. Ing. Edgardo A. Becker Líder de Asesoría Técnica LOMA NEGRA C.I.A.S.A.

que causan aumentos de volumen en la masa de concreto que pueden llegar a ser de detrimento en las estructuras.

La reacción álcali-sílice da lugar a la formación de un gel de **silicato de sodio**.

Una vez formado el gel puede absorber agua, que trae como consecuencia el aumento de volumen y consiguiente aumento de presión en el concreto lo que ocasiona la fisuración y el deterioro del concreto. Adicionalmente, el exceso de agua y la exfoliación de algunos minerales juegan un papel importante en la **expansión del concreto**.

La literatura sobre este tema habla que el contenido total de álcalis del Cemento Portland es un indicador confiable en presencia de agregados reactivos debido a que normalmente, todos los álcalis pueden ser liberados durante la hidratación del cemento. Esto ha dado lugar a unas especificaciones diferente a lo que habitualmente se estima.



*FIG III-4 SECCIÓN DE CONCRETO VISTA CON UN MICROSCOPIO PETROGRÁFICO, EN LA QUE SE EVIDENCIA UNA PARTÍCULA DE AGREGADO SILÍCEO (A LA DERECHA DE LA IMAGEN) DONDE EL GEL DE SÍLICE HA GENERADO GRIETAS AL CONCRETO DESDE EL INTERIOR.*

FUENTE: <http://www.understanding-cement.com/alkali-silica.htm>

### 2.4.2. Clasificación de la Reacción Álcali-Sílice (RAS) <sup>5</sup>

Según la forma y el estado en que se presenta la sílice reactiva en el agregado se reconocen dos cinéticas de reacción álcalis-sílice.

**2.4.2.1. Reacción álcalis-sílice rápida:** Las rocas contienen minerales de sílice pobremente cristalizados como son: Ópalo, tridimita y vidrio volcánico, tales que si los componen en un 1 o 2% pueden provocar deterioros en el hormigón en un tiempo corto, a menos de un año de construido.

**2.4.2.2. Reacción álcalis-sílice lenta:** Los agregados contienen formas de cuarzo micro cristalino, tensionado o deformado (cataclastizadas), debido a sus cristales muy pequeños exhiben una reacción lenta o diferida, con signos de deterioro externo en el hormigón luego de 8 a 25 años.

### 2.4.3. Agregados Reactivos

Los agregados considerados como reactivos tienen presencia en el cuarzo, en su forma criptocristalina en rocas sedimentarias (caso del chert o lidita, ópalo, calcedonial), y menos comúnmente el cuarzo grueso granular, fracturado y deformado y tectónicamente, de las rocas plutónicas y metamórficas (cuarzo ondulatorio en sílice de rocas minerales y rocas ácidas a intermedias).

La reactividad de los agregados está afectada por sus propiedades físicas, en particular por el tamaño de las partículas: Un agregado de una misma especie mineral puede causar un efecto de deterioro cuando se encuentra en el tamaño de grava.

Para cada tipo de agregado reactivo tiene lugar una máxima expansión cuando se encuentra presente una cierta proporción del agregado en la mezcla del concreto.

En la tabla II-7 se muestran los resultados de rocas que pueden contener la reacción álcali-agregado.

---

<sup>5</sup> PAUTAS PARA LA UTILIZACIÓN DE AGREGADOS REACTIVOS A LA REACCIÓN ÁLCALIS- SÍLICE EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología Ing. Silvia Palazzi; Ing. Daniel Anaya

ROCAS	COMPONENTE REACTIVO	COMPOSICIÓN QUIMICA	NATURALEZA FÍSICA
<b>ROCAS OPALINAS</b> Esquisto, areniscas, calcedonia, calizas, silicosas, pedernales.	Ópalo Tridimita, Cristobalita	SiO <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> O SiO <sub>2</sub>	Amorfo Cristalino
<b>ROCAS VOLCÁNICAS VITREAS</b> Riolitas, dacitas, latitas, andesitas y tufo, basaltos.	Sílice, vidrio Amorfos	SiO <sub>2</sub> con pequeñas proporciones de Al <sub>2</sub> O, Fe <sub>2</sub> O, CaO, MgO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	Vítrea criptocristalina
<b>ROCAS CON ALTA SILICE</b> Arenas cuarcitas, rocas ígneas, y metamórficas como granitos, esquistos	Cuarzo cristalino	SiO <sub>2</sub>	Cristalino

*TABLA II-7 ROCAS Y MINERALES QUE PUEDEN EXHIBIR REACCIONES ÁLCALI-SÍLICE  
FUENTE: REACTIVIDAD SILICE-AGREGADO EN EL CONCRETO; EVALUACIÓN Y MÉTODO DE ENSAYO. Ing. Wilfredo Mandujano V. Ing. Wilfredo Quintana ARPL tecnología Industrial. Pág. 12*

#### 2.4.4. Procedencia de los álcalis<sup>6</sup>

Los álcalis disponibles, capaces de reaccionar con la sílice reactiva de los agregados, provienen básicamente del cemento y del agregado, pero también pueden provenir de las puzolanas y aún del medio ambiente:

##### a) ÁLCALIS PROVENIENTES DE LOS MINERALES DEL CEMENTO

Es conocido que durante la fabricación del clínker de cemento Pórtland se presenta el ciclo de los álcalis los cuales, debido a su alta volatilidad, gran parte salen con los gases del horno pero la otra parte precipitan sobre el clínker como sulfatos o se incorporan dentro de los cristales de las fases del clínker.

Trabajos como los de Leslie Struble y Sidney Diamond reconocieron la distribución de los álcalis en las distintas fases del clínker identificándolos como sulfatos alcalinos

<sup>6</sup> REACTIVIDAD SILICE-AGREGADO EN EL CONCRETO; EVALUACION Y METODO DE ENSAYO Ing. Wilfredo Mandujano V. Ing. Wilfredo Quintana ARPL tecnología Industrial

(K,Na)SO<sub>4</sub>, langbeinita cálcica K<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, y C<sub>3</sub>A modificado por álcali y demostraron su solubilidad e influencia sobre la RAS.

Los álcalis se incorporan al crudo de fabricación provenientes de arcillas, pizarras, esquistos, micas, feldespatos, entre otros minerales empleados en el proceso.

Juegan dos clases de influencias: Una primera, durante el procesamiento del crudo en el horno para llegar al clínker, y una segunda, en el cemento terminado por su presencia en varias fases del clínker.

En la primera parte, durante el proceso en el horno, los álcalis forman eutécticos de menor punto de fusión pero, además, por su Volatilidad, se incorporan a la corriente gaseosa dentro del horno formando un ciclo cerrado que se inicia en la zona de más alta temperatura y concluye por condensación en la zona de descarbonatación o predescarbonatación.

De este modo los álcalis volatilizados se reintegran al proceso incrementando el contenido en el clínker con relación a otros procesos de cocción. El empleo creciente de sistemas de máximo aprovechamiento térmico en el horno, como son los ya mencionados, obligaría al uso de sistemas de trampas de álcalis (by-pass) para eliminar parte de los gases de combustión de la zona de ciclo alcalino.

Este incremento del tenor en álcalis en el clínker final y, por lo tanto en el cemento, es la segunda influencia y la que nos preocupa en este estudio, porque estos álcalis del cemento pasan más o menos rápidamente en solución al ser amasado el cemento con agua e iniciarse su hidratación.

En realidad todos los cementos portland tienen óxidos de sodio y de potasio en su composición, los que enunciados en conjunto, en un equivalente óxido de sodio (suma del porcentaje de Na<sub>2</sub>O más 0,658 veces el porcentaje de K<sub>2</sub>O), pueden variar corrientemente entre 0,20 y 1,80 %.

Estos álcalis están combinados con los silicatos de calcio, con los aluminatos de calcio y, también, bajo forma de sulfatos alcalinos.

Al producirse la hidratación del cemento, por un efecto de intercambio iónico con el Ca(OH)<sub>2</sub> liberado, pasan los álcalis en solución bajo el estado de hidróxidos alcalinos.

Entre el álcali total acusado por el análisis químico de un cemento y el álcali soluble en agua, liberado cuando se prepara un mortero u hormigón, puede haber gran diferencia según el estado de combinación de esos álcalis en el clínker.

#### b) ÁLCALIS PROVENIENTES DE LAS PUZOLANAS

Otra fuente de álcalis son las puzolanas naturales o artificiales. Algunas normas técnicas especifican límites máximos de álcalis disponibles cuando se va usar en la elaboración de concretos con la finalidad de prevenir la expansión debida a la RAS.

#### c) ÁLCALIS PROVENIENTES DE LOS AGREGADOS

Muchos agregados tienen naturaleza u origen volcánico con composición andesítica o reolítica que pueden liberar álcalis en el concreto o mortero y afectar la RAS con efectos expansivos. David Stark y colaboradores demostraron que los álcalis pueden ser liberados en cantidades significativas en medios saturados con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  especialmente de rocas volcánicas como las andesitas e incluso de materiales no reactivos tales como los feldespatos por intercambio iónico, donde el ión calcio de la solución sustituye a los iones sodio y potasio en la estructura del silicato con riesgo de producir expansión.

Siendo los áridos causa concurrente en este problema, vamos a remitirnos a la geología y repasar su génesis.

En términos generales sabemos que los áridos a emplear en hormigones tienen que estar constituidos por partículas resistentes y durables, de forma y tamaño estable, exentos de sustancias que por su naturaleza y cantidad afecten la resistencia y durabilidad del hormigón.

Es decir, que tendrán que provenir de rocas ígneas o metamórficas, pudiendo obtenerse por fracturación directa en cantera o por explotación de productos detríticos sedimentarios de esas mismas rocas.

ROCAS			
Por su origen	Por su formación	Por su textura	Por su presentación
<b>Eruptivas, magmáticas, ígneas o endógenas.</b>  <b>Proceden de regiones profundas y han roto con su salida la continuidad de los sedimentos</b>	Intrusivas o plutónicas. Son de mayor profundidad que anchura. (Plutonitas)	Granudas. Macrogranudas. Microgranudas. (Granitos.)	Batolitos.
	Efusivas o volcánicas. (Vulcanitas).	Porfídicas. Fenocristales	
		Vítreas. Masa amorfa. Microlitos.	
	Filínicas o intermedias.	Intermedias.	Filones. Capas. Diques. Chimeneas.
	De semiprofundidad.	Microcristalina.	Lacolitos. Lopolitos.
Extrusivas. (Lavas).		Mantos. Coladas. Proyecciones.	
<b>Sedimentarias, estratificadas o exógenas.</b>	Formando capas de más extensión que profundidad.		Arenas. Calizas. Turbas.
<b>Metamórficas</b>	De calizas, areniscas o arcillas.	Cristalinas o esquistosas	

*TABLA II-8 GEOLOGÍA DE LAS ROCAS*

*FUENTE: Durabilidad de los hormigones-Reacción álcali-ácido. V Dr. Dante J. E. Veronelli. Pág.14.*

#### d) ALCALIS PROVENIENTES DEL MEDIO AMBIENTE

Bajo ciertas condiciones, el medio ambiente también puede contribuir a la concentración de álcalis en el concreto.

#### 2.4.5. Manifestaciones de la Reacción Álcali-agregado<sup>7</sup>

Las manifestaciones externas que presentan las estructuras afectadas por la RAS son fisuras y grietas con un diseño pseudo-hexagonal, similar a un craquelado. Las fisuras

<sup>7</sup> PAUTAS PARA LA UTILIZACIÓN DE AGREGADOS REACTIVOS A LA REACCIÓN ÁLCALIS- SÍLICE EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología Ing. Silvia Palazzi; Ing. Daniel Anaya

presentan a veces, coloración más oscura sobre sus labios y la expulsión de un material de color ámbar claro a marrón que cuando se seca es de color blanco o claro.

- ✓ En los pavimentos se observa ondulación de las losas, rotura en forma de cuña por la presión de hinchamiento y saltaduras del hormigón (pop-outs).
- ✓ Cuando la estructura posee armaduras las fisuras son paralelas a ellas.
- ✓ La abertura de las fisuras puede variar desde décimas de milímetros a 2 ó 3cm.

En testigos extraídos se observa que el fenómeno se produce en toda la masa del hormigón, generalmente presentan aureolas alrededor de los agregados como síntoma del deterioro de la interface pasta-agregado.

También se puede percibir variación en el color de los agregados o del mortero y que las fisuras y poros se rellenan con los productos de la reacción. Además, las grietas asociadas son una puerta abierta que puede llevar a corrosión de la armadura y otros ataques externos con una deterioración creciente del hormigón.

En general se pueden contemplar las siguientes evidencias:

- ✓ Expansión y deformación de miembros estructurales
- ✓ Fisura en forma de Y, en malla o en estrella
- ✓ Pueden presentarse deformaciones notables de la superficie, o conos de expulsión de granos reactivos muy próximos a la superficie.
- ✓ Gotas de gel que pueden observarse en la superficie aisladas del concreto o rellenando fisuras, a veces exhiben exudaciones blancas de gel o de calcita.

#### **2.4.6. Factores que influyen sobre la Reacción Álcali-agregado<sup>8</sup>**

Para que la reacción álcali- sílice se produzca tienen que conjugarse una serie de factores desencadenantes y favorables para dicha reacción, como ser:

---

<sup>8</sup> PAUTAS PARA LA UTILIZACIÓN DE AGREGADOS REACTIVOS A LA REACCIÓN ÁLCALIS- SÍLICE EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología Ing. Silvia Palazzi; Ing. Daniel Anaya

- ✓ Reactividad de los agregados.
- ✓ Contenido de álcalis y fineza del cemento.
- ✓ Agentes externos: Humedad elevada, permanente o periódica; temperatura.
- ✓ Factores relacionados al hormigón: Dosificación, permeabilidad y relación a/c, pH, efecto de las armaduras.
- ✓ También el deterioro de las estructuras es mayor en las zonas donde por efecto de un curado incorrecto, o sea, por un secado superficial muy rápido, se presentan fisuras originadas en retracción por secado.

#### **2.4.7. Otros agentes que pueden generar algún tipo de reactividad álcali-sílice.**

##### **2.4.7.1. Condiciones ambientales**

Las condiciones necesarias para que ocurra la reacción álcali-agregado son una elevada humedad de ambiente o el humedecimiento y secado cíclico del concreto. En un concreto que permanezca seco no se presenta la reacción álcali-agregado. Ello es debido a que una vez se despliega la reacción inicial con formación de un gel de silicato de sodio, la expansión subsiguiente es el resultado de la absorción de agua por el gel.

##### **2.4.7.2. Temperatura**

La temperatura tiene un efecto considerable sobre la reacción álcali-agregado. A temperaturas muy bajas la reacción es demasiado lenta para que ocurra daño alguno durante la vida de la estructura. A temperatura elevada la velocidad de la reacción es mucho más rápida y aumenta también la producción del gel de silicato de sodio, pero su viscosidad disminuye con la temperatura y esto reduce la presión de expansión generada por el gel y, en consecuencia, disminuye la magnitud del daño al concreto; debe, considerarse que a temperaturas elevadas es menos que pueda contarse con la de humedad adecuada para que la reacción tenga lugar.

#### 2.4.8. Métodos para prevenir y/o controlar la reacción expansiva álcali-sílice de cemento y agregado<sup>9</sup>

Los problemas de la reactividad álcali-sílice se pueden evitar o controlar de varias diferentes formas, algunas de las clásicas son:

- ✓ No utilizar rocas reactivas o, por lo menos, mezclarlo con agregados no reactivos.
- ✓ No emplear cementos o materiales cementicios con alto contenido de álcalis.
- ✓ Usar cementos con contenidos de álcalis menores que 0.6% de bajo álcali
- ✓ No manejar aditivos o agua de mezclado que contengan álcalis.
- ✓ Gastar menores contenidos de cemento y bajas relaciones agua/cemento.
- ✓ Reemplazar una parte del cemento con una cantidad adecuada de materiales con contenido de sílice reactiva finamente pulverizado, como la puzolana.

#### 2.4.9. Normas para determinar la reacción álcali-agregado

- Ensayo lento de barras de mortero **ASTM C 227**
- Examen petrográfico (**ASTM C 295**) (**UNE-EN 932-3, AENOR, 1997**) (**RILEM TC106/97/11**)
- Ensayo químico (**ASTM C 289**) (**P 18 589 “ENSAYO CINÉTICO”**)(**UNE 146 507-EX, AENOR 1999**)
- Ensayo acelerado de barras de mortero **ASTM C 1260**
- Ensayo prismas de concreto **ASTM C 1567**
- **ENSAYO REACTIVIDAD AGREGADO CARBONATO STM C 586**

#### 2.5. Influencia y comportamiento del concreto con la reacción álcali-agregado en su resistencia y durabilidad.

Los agregados pueden reaccionar con los componentes del concreto con resultados negativos para la calidad de este.

---

<sup>9</sup> Durabilidad de los hormigones-Reaccion arido-álcali. V Dr. Dante J. E. Veronelli.

La reacción álcali-agregado o álcali-sílice es un fenómeno químico, que se produce en el interior del hormigón entre determinados minerales reactivos provenientes del agregado y los álcalis disueltos en la pasta de cemento hidratada en forma de hidróxidos. Esta reacción es un fenómeno lento, pero la presencia de ciertos factores desencadenantes como la humedad y la temperatura puede hacer que se acelere.

La reacción álcali-sílice puede presentar una expansión en el concreto que puede exceder del 0,6% lineal. Las grietas, producidas por esta expansión presentan una configuración irregular pero característica del fenómeno, acompañada en la superficie de un compuesto blanco y amorfo.

También es común que en la superficie del concreto fracturado, aparezcan los agregados afectados rodeados de una zona oscura que representa la profundidad a que la partícula ha sido atacada por los álcalis.

Todos estos signos y fenómenos que sufre el hormigón influyen y son motivos que afectan a su resistencia y durabilidad, porque una estructura de hormigón con presencia de fisuras y agrietamientos que son signo de expansiones; causa que esta se desgaste con el tiempo; perdiendo su adherencia con los agregados y no cumpla con la resistencia de diseño o sea motivo de refracciones y reparaciones futuras costosas.

La resistencia a la compresión se ha considerado, desde hace mucho tiempo, el parámetro más importante de la calidad del hormigón. A medida que los investigadores adquieren más conocimientos sobre la durabilidad del hormigón, se pone de manifiesto que otros parámetros son de igual o mayor importancia que el determinado mediante el ensayo de probetas cilíndricas a los 28 días, razón por la cual actualmente las mezclas de hormigón se diseñan por resistencia y durabilidad.

Son muchas las causas de deterioro en el hormigón: fisuración por contracción por secado, exposición a temperaturas extremas, abrasión y erosión, ataques químicos: por sulfatos, por ácidos, en agua de mar, y reacciones internas entre los componentes del hormigón: reacción álcali- sílice, álcali-carbonato, etc.

De todos ellos, en el presente trabajo nos vamos a enfocar en la reacción álcali- sílice y su influencia en la resistencia y durabilidad del hormigón.

## CAPÍTULO III. PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. Enfoque de la investigación.

De acuerdo a los objetivos de la investigación se busca determinar la posible potencialidad reactiva de agregados de algunas canteras de agregados de la región que generalmente se usan para la construcción, para ello se desarrollarán dos métodos de los cuáles se nombraron en 2.4.9 y son los siguientes:

- ✓ Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Método de la barra de mortero. Norma **ASTM C-1260**.
- ✓ Determinación de la reactividad árido/álcali. Método Químico. Norma **ASTM C-289**.

De los cuáles el método acelerado de la barra de mortero fue desplegado en el laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho- Tarija, y el método químico fue desarrollado en las instalaciones del laboratorio RIMH APROTEC.

Los agregados naturales que se emplearon para la investigación son de la región; Rio Camacho, Rio Santa Ana, Temporal y Rancho con los cuáles se obtendrán:

- ✓ Caracterización de cada banco de agregado.
- ✓ Dosificación de las mezclas de acuerdo al método ACI-211, con el objeto de adquirir sus resistencias a los 28 días, tomando en cuenta todas las características de los agregados, para realizar una comparación entre resistencias adquiridas.

Con la finalidad de obtener pocas variables al momento de comparar los resultados de la reacción Álcali-agregado con las resistencias obtenidas se llevará a cabo:

- ✓ Realización de mezclas de hormigón con una misma dosificación, la misma relación agua-cemento y una granulometría similar.

## 3.2. Muestreo de los materiales para la investigación.

### 3.2.1. Agregados

Los agregados empleados para la investigación se seleccionaron tomando en cuenta los más usuales para la construcción y tratando de abarcar diferentes cuencas de Tarija las más cercanas a la ciudad.

#### 3.2.1.1. Extracción de los agregados

Los agregados fueron extraídos de acuerdo con el método para extraer y preparar muestras (ASTM C 75 AASHTO T2)<sup>1</sup>, el cual establece los procedimientos que se deben seguir para preparar muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayos.

Las muestras extraídas son de yacimiento con frente descubierto de árido en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.



*FOTOGRAFÍA III-1 ÁRIDO FINO-RIO CAMACHO*

*FUENTE: Elaboración propia*

---

<sup>1</sup> Manuales Técnicos-Ensayos de Suelos y Carreteras. Administradora Boliviana de Carreteras



FOTOGRAFIA III-2 YACIMIENTO DE AGREGADOS EL TEMPORAL  
FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.1.2. Ubicación y descripción geológica.



FOTOGRAFIA III-3 UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE AGREGADOS EMPLEADOS PARA LA INVESTIGACIÓN

FUENTE: google earth

## **RANCHO**

La cantera de Rancho se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Tarija aproximadamente a 10 Km entre 21°28' latitud sur y 64°45' latitud oeste, los agregados provienen del río Guadalquivir al cual aportan los ríos de Sella, Corana, Carachimayo, Canasmoro, San Lorenzo, P`ajchanis y Calama.

En cuanto a las características a simple vista se puede notar que algunas piedras tienen formas lajosas y por la cercanía a la ciudad son muy empleados.

De acuerdo a la formación geológica existe un material semi-consolidado de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas de edad cuaternaria producto de la descomposición de las rocas de la formación cienaguillas de edad ordovícica formados por lutitas que son rocas de composición esencialmente arcillosa y una estructura típica a la laminaridad por lo que su característica es la de separarse en laminas o escamas.

## **TEMPORAL**

La cantera de Temporal se encuentra situada al Sureste de la ciudad de Tarija, aproximadamente a 7 Km entre 21° 35' latitud sur y 64°41' latitud oeste, los materiales provienen del río Guadalquivir, contribuyendo los ríos de Erquiz, La victoria, quebrada El Monte, quebrada San Pedro y Tolomosa. La explotación actual se extiende desde la zona de San Luis hasta la Angostura.

Los áridos de esta zona son aprovechables por su buena consistencia y homogeneidad, los áridos finos son homogéneos y a simple vista se ve una arena gruesa no muy fina.

De acuerdo a la formación geológica en la zona del Temporal, existen depósitos de carácter aluvial, de material suelto, de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas producto de la destrucción de rocas de la formación cienaguillas, pertenecientes al periodo ordovícico, formados con lutitas de color gris oscura intercalados con niveles de cuarcitas y areniscas. La cuarcita es una roca dura de textura sacaroide constituida

principalmente por granos de cuarzo entrelazados, por lo que su fractura es a través de los granos y no alrededor de ellos; su color es variable blanco, rosado, rojo, negro, etc.

### **SANTA ANA**

Santa Ana se localiza a unos 12 Km al sur de la ciudad de Tarija, al lado de la carretera Panamericana Tarija-Padcaya, sobre el río Santa Ana, entre 21°35' latitud sur y 64°36' latitud oeste, al cual aporta el río Carlaso. El material es ampliamente usado en la región como árido fino limpio. Los bancos se ubican en los meandros (curvas) del curso del río, que son los lugares donde se acumula mayor cantidad de material. El volumen de material aproximadamente homogéneo y aprovechable se ha estimado en unos 10000 m<sup>3</sup> variable en las diferentes épocas del año.

Los depósitos cuaternarios de Santa Ana, están compuestos de material semi-consolidado de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, formados a partir de la destrucción de las rocas de la formación icla compuestos de lutitas y areniscas de edad devónica.

### **CAMACHO**

La extracción de los agregados del Río Camacho se efectuó a 30 Km aproximadamente de la ciudad de Tarija, en el valle de la Concepción, entre 21°42' latitud sur y 64°38' latitud oeste, a este contribuyen los ríos de Chaguaya, Juntas, y Barrancas. Los áridos de este río son de canto rodado y es un material aprovechable por su buena consistencia y homogeneidad.

En cuanto a la formación geológica son depósitos de origen fluvial y aluvial, formado por gravas de edad precámbrica, perteneciente a la formación rejara compuesta de metagranodiorita y rocas de la formación cienaguillas compuesta de cuarcitas y lutitas de edad ordovícica.

### 3.2.2. Cemento

El cemento empleado para la investigación es el cemento EL PUENTE el cual cuenta con las siguientes características:

#### 3.2.2.1. Especificaciones Técnicas

- ✓ Norma técnica: Norma Boliviana NB-011
- ✓ Tipo de cemento: IP-30
- ✓ Presentación: bolsas de 50 Kg.

#### 3.3.2.2. Características

Producto obtenido de la molienda conjunta de clinker, yeso y puzolana. Desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica debido a la inclusión de puzolana.

La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, al ser muy porosa y puede obtenerse en casi todo el territorio nacional. Un cemento puzolánico contiene aproximadamente:

55-70%	de clinker Portland
40-55%	de puzolana
2-4%	de yeso

#### 3.2.2.3. Especificaciones Químicas y Físicas

El cemento aprovechado para efectuar el ensayo del método acelerado de la barra de mortero ASTM C1260 tiene una fecha de fabricación del mes de marzo de 2014.

Fecha:	Marzo del 2014		Cemento Portland El Puente	Norma Boliviana IP-30
<b>ESPECIFICACIONES QUIMICAS</b>	PPF	%	3,97	< 7
	SiO <sub>2</sub>	%	28,07	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5,14	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,9	
	CaO	%	51,14	
	MgO	%	2,25	< 6
	SO <sub>3</sub>	%	1,52	< 4
	K <sub>2</sub> O	%	1,65	
	Na <sub>2</sub> O	%	0,35	
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,01	
	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,12	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,21	
	TiO <sub>2</sub>	%	0,27	
	R.I.	%	14,43	
Cal libre	%	0,74		

*TABLA III-1 ESPECIFICACIONES QUÍMICAS DEL CEMENTO EL PUENTE  
FUENTE: Área Técnica del laboratorio de SOBOCE-ELPUENTE*

<b>ESPECIFICACIONES FISICAS</b>	<b>BLAINE</b>		<b>cm<sup>2</sup>/g</b>	<b>4839</b>	<b>&gt; 2600</b>
	TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL	Min.	182	> 60
		FINAL	Hrs.	04:49	<12:00
	EXPANSION AUTOCLAVE		%	0,092	<8
	RELACION a/c		ml/g.	0,518	
	FLUIDEZ		%	108	
	RESIDUO EN MALLAS	200 M	%Ret.	0,96	
		325 M	%Ret.	6,27	
	PESO ESPECIFICO		g/ml	3040	
	RESISTENCIA A COMPRESION	3 DIAS	Mpa	20,8	> 10
7 DIAS		Mpa	26,1	> 17	
28 DIAS		Mpa	33,2	> 30	

*TABLA III-2 ESPECIFICACIONES FÍSICAS DEL CEMENTO EL PUENTE  
FUENTE: Área Técnica del laboratorio de SOBOCE-ELPUENTE*

### 3.3. Caracterización de los agregados

#### 3.3.1. Ensayos

Los ensayos fueron realizados en los ambientes del laboratorio de suelos y hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y de acuerdo a los manuales técnicos, ensayos de suelos y hormigones de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

##### 3.3.1.1. Granulometría

**Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C 136 AASHTO T27)<sup>2</sup>**

Este método de ensayo establece el procedimiento para tamizar y delimitar la granulometría (distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido).

##### 3.3.1.2. Peso Específico

###### 3.3.1.2.1. Peso Específico del Agregado fino

**Método para determinar el peso específico real, el peso específico neto y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C128 AASHTO T84).**

Este método instauro los procedimientos para determinar el peso específico real, el peso específico neto y la absorción de agua de los áridos finos.

###### 3.3.1.2.2. Peso Específico del Agregado grueso

**Método para determinar el peso específico real, el peso específico neto y la absorción en áridos gruesos (ASTM C 127 AASHTO T85).**

Este método instituye los procedimientos para determinar el peso específico real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

---

<sup>2</sup> Manuales Técnicos-Ensayos de Suelos y Carreteras. Administradora Boliviana de Carreteras

### 3.3.1.3. Peso Unitario

Ensayo para determinar el peso unitario o peso específico aparente (ASTM E 30 ASTM C 29).

Este método de ensayo establece los procedimientos para delimitar el peso específico de los áridos.

### 3.3.2. Resultados

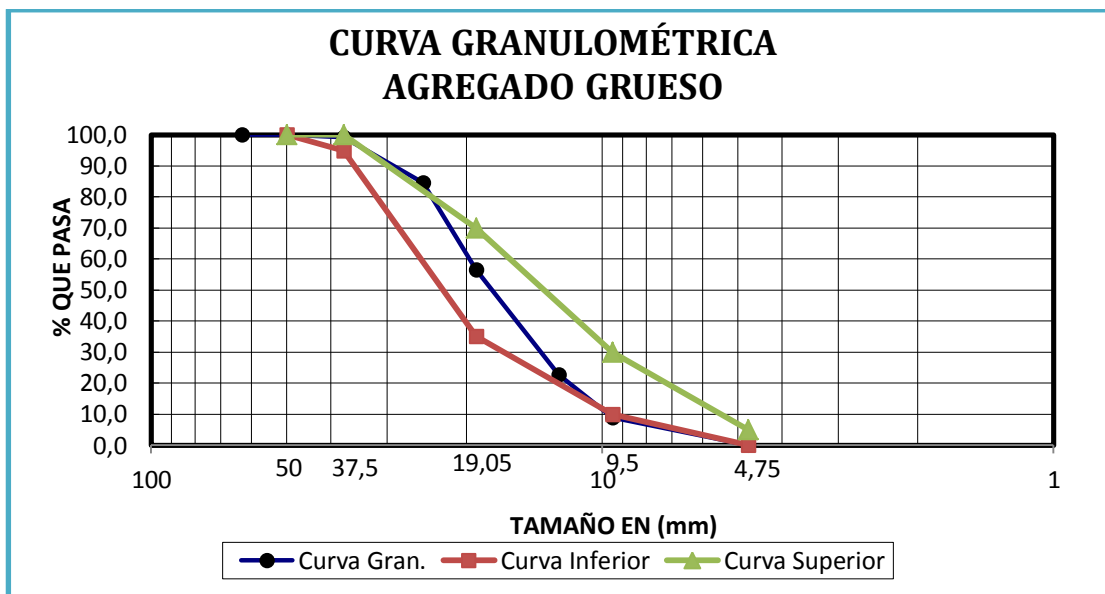
#### 3.3.2.1. Granulometría de los áridos.

## RANCHO

### -Granulometría del agregado Grueso

Peso Total (gr.) =		10000					
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa	% Que pasa	
	(mm)		(gr)	(%)	del total	Especif. ASTM	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
2	50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
1 1/2	37,50	70,00	70,00	0,70	99,3	95	100
1	25,00	1461,30	1531,30	15,31	84,7		
3/4	19,05	2804,00	4335,30	43,35	56,6	35	70
1/2	12,50	3400,00	7735,30	77,35	22,6		
3/8	9,50	1373,00	9108,30	91,08	8,9	10	30
Nº4	4,75	891,70	10000,00	100,00	0,0	0	5
BASE	0	0,00	10000,00	100,00	0,0		
SUMA =		10000,00					
PÉRDIDAS =		0,00					
MF =		7,35					

TABLA III-3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (RANCHO)  
FUENTE: Elaboración propia



GRÁFICA III-1 CURVA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO GRUESO (RANCHO)

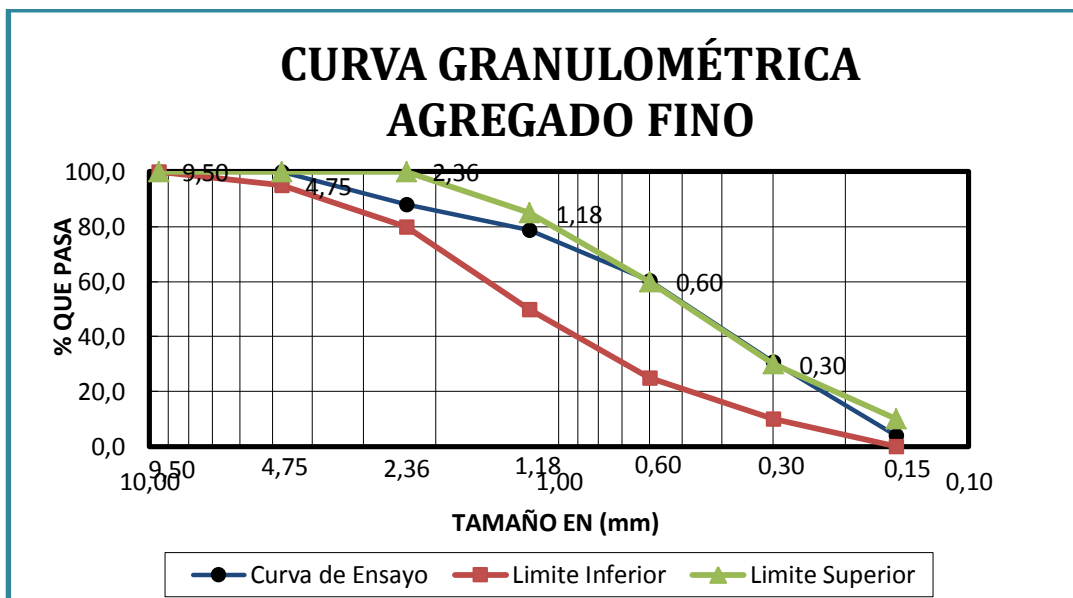
FUENTE: Elaboración propia

#### -Granulometría del agregado Fino

Peso Total (gr.)		1000					
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa	Especificación	
	(mm)				del total	ASTM C-33	
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
Nº4	4,75	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	95	100
Nº8	2,36	118,90	118,90	11,89	<b>88,1</b>	80	100
Nº16	1,18	93,70	212,60	21,26	<b>78,7</b>	50	85
Nº30	0,60	182,90	395,50	39,55	<b>60,5</b>	25	60
Nº50	0,30	296,30	691,80	69,18	<b>30,8</b>	10	30
Nº100	0,15	266,90	958,70	95,87	<b>4,1</b>	2	10
<b>BASE</b>		35,90	994,60	99,46	<b>0,5</b>		
	<b>SUMA</b>	994,6					
	<b>PÉRDIDAS</b>	5,4					
	<b>MF =</b>	<b>2,38</b>					

TABLA III-4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO FINO (RANCHO)

FUENTE: Elaboración propia



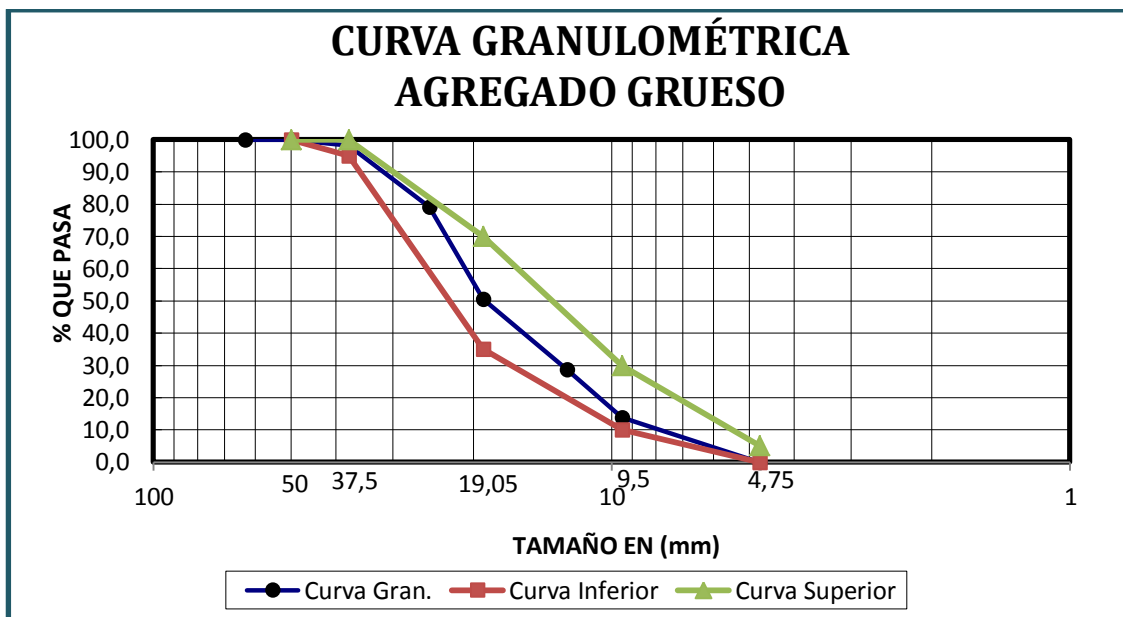
*GRÁFICA III-2 CURVA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO FINO (RANCHO)  
FUENTE: Elaboración propia*

## TEMPORAL

### -Granulometría del agregado grueso

Peso Total (gr.) =		10000				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado (gr)	Retenido Acumulado (%)	% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. ASTM
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100 100
2	50	0,00	0,00	0,00	100,0	100 100
1 1/2	37,50	185,00	185,00	1,85	98,2	95 100
1	25,00	1897,00	2082,00	20,82	79,2	
3/4	19,05	2860,40	4942,40	49,42	50,6	35 70
1/2	12,50	2190,00	7132,40	71,32	28,7	
3/8	9,50	1480,00	8612,40	86,12	13,9	10 30
Nº4	4,75	1387,60	10000,00	100,00	0,0	0 5
BASE	0	0,00	10000,00	100,00	0,0	
SUMA =		10000,00				
PÉRDIDAS =		0,00				
MF =		7,37				

*TABLA III-5 ANILISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (TEMPORAL)  
FUENTE: Elaboración propia*



GRÁFICA III-3 CURVA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO GRUESO (TEMPORAL)

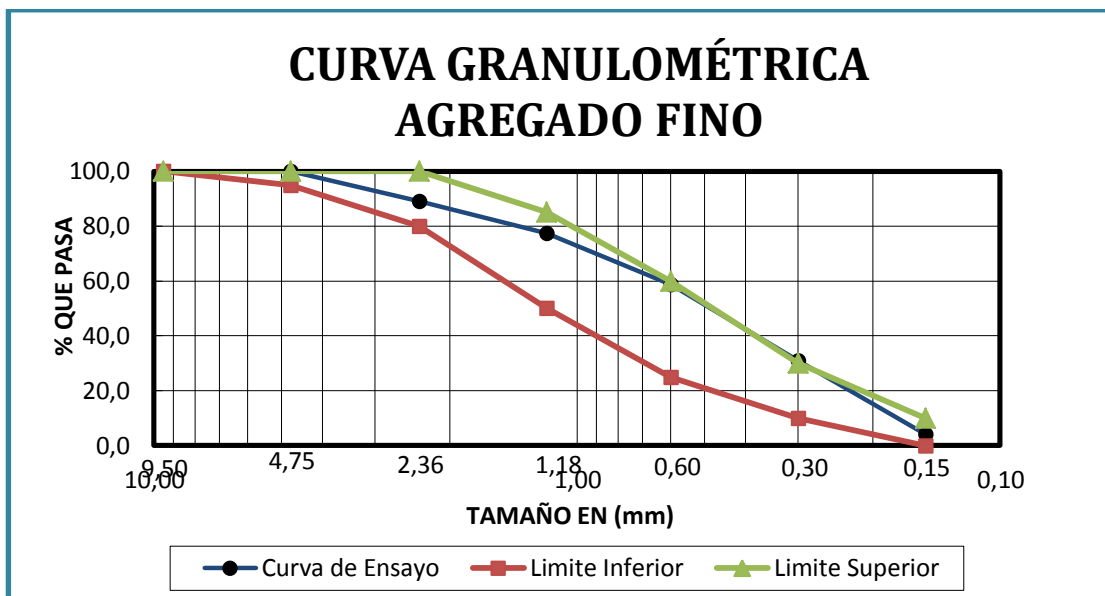
FUENTE: Elaboración propia

#### -Granulometría del agregado fino

Peso Total (gr.)		1000					Especificación	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM C-33		
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100	
Nº4	4,75	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	95	100	
Nº8	2,36	108,70	108,70	10,87	<b>89,1</b>	80	100	
Nº16	1,18	117,30	226,00	22,60	<b>77,4</b>	50	85	
Nº30	0,60	185,80	411,80	41,18	<b>58,8</b>	25	60	
Nº50	0,30	279,00	690,80	69,08	<b>30,9</b>	10	30	
Nº100	0,15	267,30	958,10	95,81	<b>4,2</b>	2	10	
<b>BASE</b>		33,30	991,40	99,14	<b>0,9</b>			
<b>SUMA</b>		991,4						
<b>PÉRDIDAS</b>		8,6						
<b>MF =</b>		<b>2,40</b>						

TABLA III-6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO FINO (TEMPORAL)

FUENTE: Elaboración propia



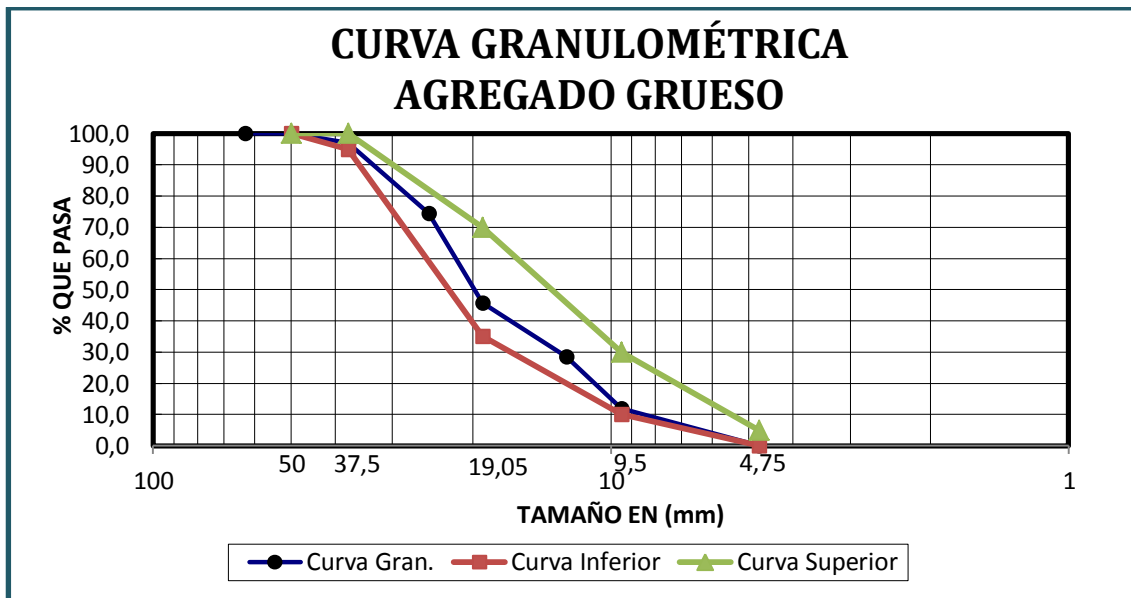
*GRÁFICA III-4 CURVA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO FINO (TEMPORAL)  
FUENTE: Elaboración propia*

## SANTA ANA

### -Granulometría del agregado grueso

Peso Total (gr.) =		10000				
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado	% Que pasa	% Que pasa	
	(mm)		(gr)	(%)	del total	Especif. ASTM
<b>2 1/2"</b>	63	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100 100
<b>2</b>	50	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100 100
<b>1 1/2</b>	37,50	299,70	299,70	3,00	<b>97,0</b>	95 100
<b>1</b>	25,00	2250,60	2550,30	25,50	<b>74,5</b>	
<b>3/4</b>	19,05	2866,90	5417,20	54,17	<b>45,8</b>	35 70
<b>1/2</b>	12,50	1733,00	7150,20	71,50	<b>28,5</b>	
<b>3/8</b>	9,50	1650,10	8800,30	88,00	<b>12,0</b>	10 30
<b>Nº4</b>	4,75	1199,70	10000,00	100,00	<b>0,0</b>	0 5
<b>BASE</b>	0	0,00	10000,00	100,00	<b>0,0</b>	
	<b>SUMA =</b>	10000,00				
	<b>PÉRDIDAS</b>	0,00				
	=					
	<b>MF =</b>	<b>7,45</b>				

*TABLA III-7 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (SANTA ANA)  
FUENTE: Elaboración propia*

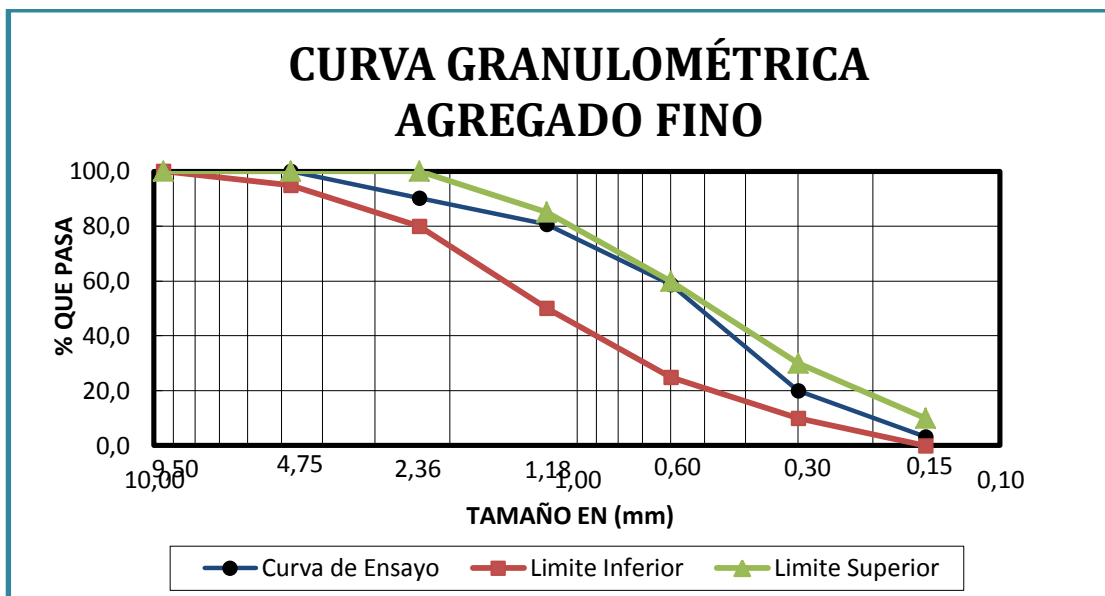


*GRÁFICA III-5 CURVA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO GRUESO (SANTA ANA)  
FUENTE: Elaboración propia*

#### **-Granulometría del agregado fino**

Peso Total (gr.)		1000					
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificacion ASTM C-33	
<b>3/8</b>	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
<b>N°4</b>	4,75	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	95	100
<b>N°8</b>	2,36	96,90	96,90	9,69	<b>90,3</b>	80	100
<b>N°16</b>	1,18	96,30	193,20	19,32	<b>80,7</b>	50	85
<b>N°30</b>	0,60	220,60	413,80	41,38	<b>58,6</b>	25	60
<b>N°50</b>	0,30	385,90	799,70	79,97	<b>20,0</b>	10	30
<b>N°100</b>	0,15	168,90	968,60	96,86	<b>3,1</b>	2	10
<b>BASE</b>		27,10	995,70	99,57	<b>0,4</b>		
<b>SUMA</b>		995,7					
<b>PÉRDIDAS</b>		4,3					
<b>MF =</b>		<b>2,47</b>					

*TABLA III-8 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO FINO (SANTA ANA)  
FUENTE: Elaboración propia*



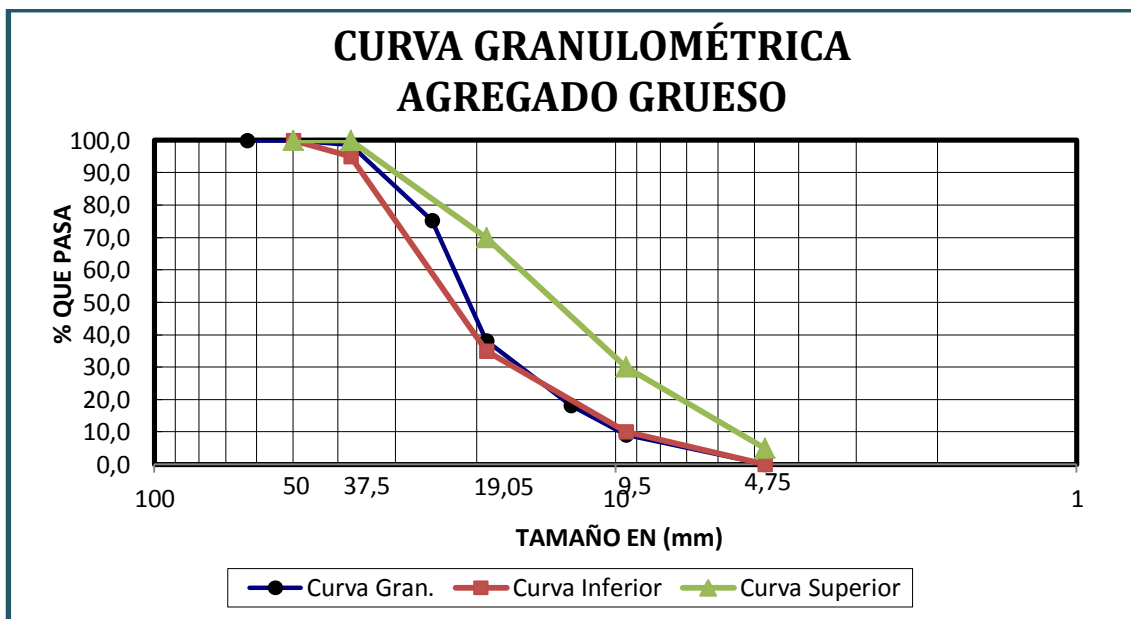
*GRAFICA III-6 CURVA GRANULOMETRICA - AGREGADO FINO (SANTA ANA)  
FUENTE: Elaboración propia*

## CAMACHO

### -Granulometría del agregado grueso

Peso Total (gr.) =		10000				
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado	% Que pasa	% Que pasa	
	(mm)		(gr)	(%)	del total	Especif. ASTM
<b>2 1/2"</b>	63	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100 100
<b>2</b>	50	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100 100
<b>1 1/2</b>	37,50	149,60	149,60	1,50	<b>98,5</b>	95 100
<b>1</b>	25,00	2327,50	2477,10	24,77	<b>75,2</b>	
<b>3/4</b>	19,05	3707,30	6184,40	61,84	<b>38,2</b>	35 70
<b>1/2</b>	12,50	2004,60	8189,00	81,89	<b>18,1</b>	
<b>3/8</b>	9,50	896,80	9085,80	90,86	<b>9,1</b>	10 30
<b>Nº4</b>	4,75	911,00	9996,80	99,97	<b>0,0</b>	0 5
<b>BASE</b>	0	0,00	9996,80	99,97	<b>0,0</b>	
<b>SUMA =</b>		9996,80				
<b>PÉRDIDAS =</b>		3,20				
<b>MF =</b>		<b>7,54</b>				

*TABLA III-9 ANILISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (CAMACHO)  
FUENTE: Elaboración propia*



GRÁFICA III-7 CURVA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO GRUESO (CAMACHO)

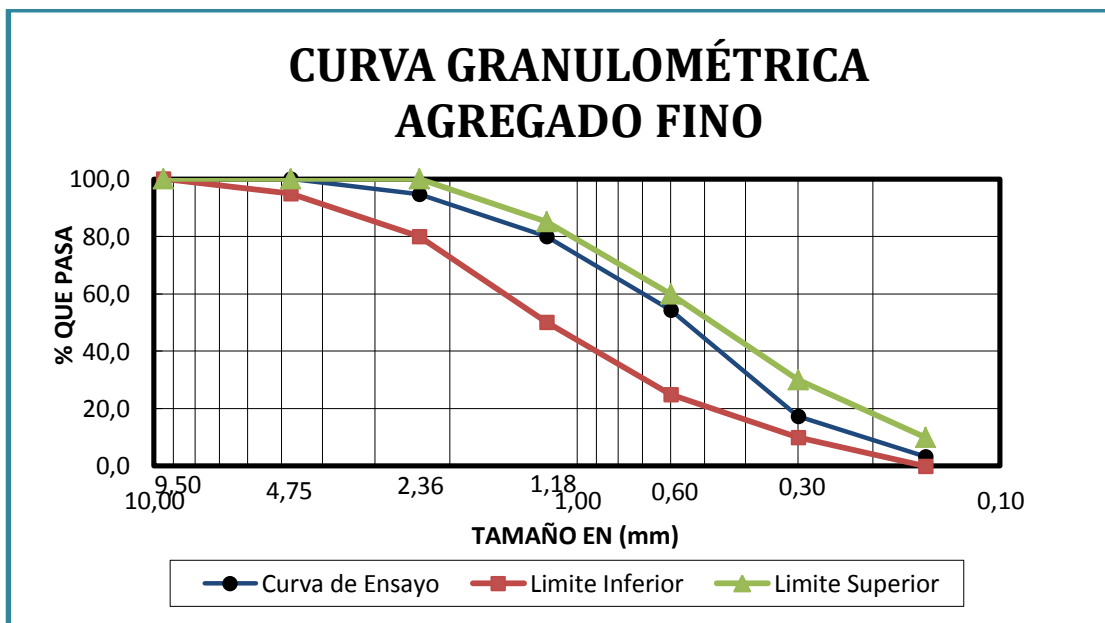
FUENTE: Elaboración propia

#### -Granulometría del agregado fino

Peso Total (gr.)		1000					Especificacion	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM C-33		
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100	
Nº4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,0	95	100	
Nº8	2,36	52,50	52,50	5,25	94,8	80	100	
Nº16	1,18	147,40	199,90	19,99	80,0	50	85	
Nº30	0,60	257,70	457,60	45,76	54,2	25	60	
Nº50	0,30	368,20	825,80	82,58	17,4	10	30	
Nº100	0,15	141,00	966,80	96,68	3,3	2	10	
<b>BASE</b>		22,80	989,60	98,96	1,0			
	<b>SUMA</b>	989,6						
	<b>PÉRDIDAS</b>	10,4						
	<b>MF =</b>	<b>2,50</b>						

TABLA III-10 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO FINO (CAMACHO)

FUENTE: Elaboración propia



*GRAFICA III-8 CURVA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO FINO (CAMACHO)  
FUENTE: Elaboración propia*

#### 3.3.2.2. Peso Específico de los áridos.

#### -PESOS ESPECÍFICOS Y PORCENTAJES DE ABSORCIÓN ÁRIDO GRUESO

CANTERA	PESO ESPECÍFICO A GRANEL g/m <sup>3</sup>	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUPERFICIE SECA g/m <sup>3</sup>	PESO ESPECÍFICO APARENTE g/m <sup>3</sup>	% DE ABSORCIÓN
RANCHO	2,48	2,52	2,59	1,68
TEMPORAL	2,54	2,58	2,64	1,38
SANTA ANA	2,54	2,58	2,64	1,46
CAMACHO	2,57	2,60	2,65	1,21

*TABLA III-11 PESOS ESPECIFICOS Y PORCENTAJES DE ABSORCIÓN-AGREGADO GRUESO  
FUENTE: Elaboración propia*

**-PESOS ESPECÍFICOS Y PORCENTAJES DE ABSORCIÓN ARIDO FINO**

<b>CANTERA</b>	<b>PESO ESPECÍFICO A GRANEL g/m<sup>3</sup></b>	<b>PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUPERFICIE SECA g/m<sup>3</sup></b>	<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE g/m<sup>3</sup></b>	<b>% DE ABSORCIÓN</b>
<b>RANCHO</b>	2,28	2,32	2,38	1,78
<b>TEMPORAL</b>	2,40	2,44	2,51	1,75
<b>SANTA ANA</b>	2,43	2,47	2,52	1,53
<b>CAMACHO</b>	2,42	2,46	2,53	1,80

*TABLA III-12 PESOS ESPECÍFICOS Y PORCENTAJES DE ABSORCIÓN-AGREGADO FINO  
FUENTE: Elaboración propia*

**3.3.2.3. Peso Unitario de los áridos.**

**-PESOS UNITARIOS DEL ÁRIDO GRUESO**

<b>CANTERA</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO g/m<sup>3</sup></b>	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO g/m<sup>3</sup></b>
<b>RANCHO</b>	1,566	1,523
<b>TEMPORAL</b>	1,555	1,611
<b>SANTA ANA</b>	1,526	1,589
<b>CAMACHO</b>	1,589	1,623

*TABLA III-13 PESOS UNITARIOS-AGREGADO GRUESO  
FUENTE: Elaboración propia*

## **-PESOS UNITARIOS DEL ÁRIDO FINO**

<b>CANTERA</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO g/m<sup>3</sup></b>	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO g/m<sup>3</sup></b>
<b>RANCHO</b>	1,444	1,523
<b>TEMPORAL</b>	1,446	1,583
<b>SANTA ANA</b>	1,315	1,457
<b>CAMACHO</b>	1,381	1,535

*TABLA III-14 PESOS UNITARIOS-AGREGADO FINO*

*FUENTE: Elaboración propia*

### **3.4. Diseño de las mezclas**

Con el objeto de conocer las resistencias de las mezclas de hormigón de cada agregado empleado para la investigación y tomando en cuenta parámetros que son de acuerdo al tipo de estructura que afecta la reacción álcali-agregado para su resistencia, se efectuó la siguiente dosificación:

#### **3.4.1. Proceso**

Para la presente investigación se practicó el método del ACI (American Concrete Institute) que consta, sintéticamente, de los siguientes pasos:

- 1) Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada.

Se elaboraron mezclas para cada agregado con una misma resistencia de diseño convencional de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

<b>Resistencia de Diseño Cuando no Hay Datos que Permitan Determinar la Desviación Estándar (a)</b>	
<b>Resistencia específica <math>f_{ck}</math> en (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia de diseño de la mezcla <math>f_{cm}</math> en (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Menos de 210 kg/cm<sup>2</sup></b>	$f_{ck} + 70 \text{ kg/cm}^2$
<b>De 210 a 350 kg/cm<sup>2</sup></b>	$f_{ck} + 85 \text{ kg/cm}^2$
<b>Más de 350 kg/cm<sup>2</sup></b>	$f_{ck} + 100 \text{ kg/cm}^2$

*TABLA III-15 RESISTENCIA DE DISEÑO*

*FUENTE: NORMA A.C.I.*

De acuerdo a la tabla III-15 se obtiene una resistencia característica de 295 Kg/cm<sup>2</sup>

2) Selección de tamaño máximo de agregado.

Los áridos bien graduados de tamaño máximo tienen menos vacíos que los de tamaños menores. De aquí que los hormigones con áridos de mayor tamaño requieran menos mortero por unidad de volumen. Generalmente el tamaño máximo del árido debe ser el mayor que se encuentre disponible económicamente y el que resulte compatible con las dimensiones de la estructura.<sup>3</sup>

De acuerdo al tema de investigación, donde la reacción álcali-agregado se manifiesta en estructuras que están sometidas a la humedad y altas temperaturas como cimentaciones, pavimentos rígidos, canales, presas, etc. Se optó por elegir un tamaño máximo de 1 y ½ pulg.; como estas estructuras generalmente se construyen con tamaños grandes.

---

<sup>3</sup> Dosificación y Resistencias de hormigón elaborados con materiales regionales. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Ing. Alberto Benitez Reynoso

Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción				
Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulg. (cm.)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 – 15	1/2"(1,2) - 3/4"(1,9)	3/4"(1,9)	3/4"(1,9) - 1"(2,5)	3/4"(1,9) - 1 3/4"(3,8)
19 – 29	3/4"(1,9) - 1 1/2"(3,8)	1 1/2"(3,8)	1 1/2"(3,8)	1 1/2"(3,8) - 3"(7,6)
30 – 74	1 1/2"(3,8) - 3"(7,6)	3"(7,6)	1 1/2"(3,8) - 3"(7,6)	3"(7,6)
75 o más	1 1/2"(3,8) - 3"(7,6)	6"(15,2)	1 1/2"(3,8) - 3"(7,6)	3"(7,6) - 6"(15,2)

TABLA III-16 TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS

FUENTE: REF. NORMA A.C.I.

3) Selección del asentamiento.

Si el asentamiento no está definido pueden usarse los valores presentados en la tabla III-17, que son aplicables cuando se utiliza vibración para compactar el hormigón.

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP MÁXIMO	SLUMP MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

TABLA III-17 ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE ESTRUCTURAS

4) Selección del volumen de agua de diseño.

La cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón, requerida para producir un asentamiento dado depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y de la granulometría de los áridos, así como de la cantidad de aire incluido.

Asentamiento	Agua en lt/m <sup>3</sup> , para TNM agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	-

*TABLA III-18 VOLUMEN DE AGUA*

5) Selección de la relación agua-cemento por resistencia.

Los requerimientos de la relación agua-cemento se determinan no sólo por los requerimientos de resistencia sino por factores tales como la durabilidad y propiedades del acabado. Ya que los diferentes agregados producen resistencias distintas con la relación agua-cemento. La resistencia promedio seleccionada debe, desde luego, exceder a la resistencia especificada (característica) por un margen suficiente, para mantener el número de pruebas de resistencias bajas dentro de los límites especificados.<sup>4</sup>

RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	Relación a/c en peso	
	Concreto sin Aire incorporado	Concreto con Aire incorporado
150	0,8	0,71
200	0,7	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,4
400	0,43	-
450	0,38	-

*TABLA III-19 RELACIÓN AGUA-CEMENTO POR RESISTENCIA*

<sup>4</sup> Dosificación y Resistencias de hormigón elaborados con materiales regionales. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Ing. Alberto Benitez Reynoso

<b>Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Colombianos, Pórtland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido</b>			
<b>Resistencia a la compresión Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Relación agua-cemento en peso</b>		
	<b>Límite superior</b>	<b>Línea media</b>	<b>Límite inferior</b>
<b>140</b>	-	0,72	0,65
<b>175</b>	-	0,65	0,58
<b>210</b>	0,7	0,58	0,53
<b>245</b>	0,64	0,53	0,49
<b>280</b>	0,59	0,48	0,45
<b>315</b>	0,54	0,44	0,42
<b>350</b>	0,49	0,40	0,38

*TABLA III-20 RELACION AGUA - CEMENTO*

6) Determinación del contenido de agregado grueso.

Los áridos esencialmente similares en granulometría y en tamaño máximo producirán un hormigón de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplee un volumen precisado de árido grueso y seco, compactado con varilla, por volumen unitario de hormigón. Las diferencias en la cantidad de mortero necesarias para obtener la trabajabilidad con áridos distintos, debidas a la forma y granulometría de las partículas, quedan compensadas con las diferencias en el concreto de vacíos en el árido seco y compactado con varilla.<sup>5</sup>

<b>Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena (b)</b>					
<b>Tamaño máximo nominal del agregado</b>		<b>Módulo de finura de la arena</b>			
<b>mm.</b>	<b>pulg.</b>	<b>2,40</b>	<b>2,60</b>	<b>2,80</b>	<b>3,00</b>
<b>9,5</b>	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
<b>12,7</b>	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
<b>19,0</b>	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
<b>25,4</b>	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
<b>38,1</b>	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
<b>50,8</b>	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
<b>76,1</b>	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
<b>152,0</b>	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

*TABLA III-21 PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO*

<sup>5</sup> Dosificación y Resistencias de hormigón elaborados con materiales regionales. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Ing. Alberto Benitez Reynoso

7) Determinación del contenido de cemento.

La cantidad de cemento por unidad de volumen se obtiene de las determinaciones efectuadas en los pasos 4 y 5. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (paso 4) dividido entre la relación agua-cemento (paso 5). Si, no obstante, la especificación incluye por separado un límite mínimo de cemento además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.

8) Determinación de la cantidad del agregado fino.

Al concluir el paso 7, se habrán calculado todos los componentes del hormigón, excepto el árido fino. Su cantidad se dispone por medio de las diferencias. Se puede emplear el método por peso o el método de volumen absoluto.

Si el peso de volumen unitario de hormigón se presupone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido del árido fino es simplemente la diferencia entre el peso de hormigón fresco y el peso total de los ingredientes. Por lo general, en base a experiencias anteriores con los materiales se conoce el peso unitario del hormigón con una precisión razonable.

Un procedimiento más exacto para calcular la cantidad requerida de agregado fino se basa en el uso de los volúmenes de los componentes. En este caso, el volumen total de los componentes conocidos (agua, aire, cemento y árido grueso) se resta del volumen unitario de hormigón para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen que cualquier componente ocupa en el hormigón es igual a su peso dividido entre el peso específico de ese material (siendo este último el producto del peso unitario del agua y la densidad del material).

9) Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

Debe considerarse la humedad de los áridos para pesarlos correctamente. Por lo general, los áridos están húmedos y a su peso seco habrá que aumentarle el porcentaje de agua que contengan, tanto la absorbida como la superficial. El agua de mezclado que se agrega a la mezcla debe reducirse en una cantidad igual a la

de la humedad libre que contiene el árido, esto es, humedad total menos absorción.

10) Precisión de la proporción en peso, de diseño y de obra.

### 3.4.2. Resultados

Dosificaciones obtenidas según la norma ACI.

CANTERA	CEMENTO	ARENA	GRAVA
RANCHO	1,000	1,804	3,650
TEMPORAL	1,000	1,961	3,659
SANTA ANA	1,000	2,027	3,609
CAMACHO	1,000	2,015	3,638

TABLA II-22 PROPORCIONES DE MEZCLA

FUENTE: Elaboración propia

## 3.5. Análisis y determinación de la reacción Álcali-agregado

### 3.5.1 Ensayos

Para la determinación de la posible potencialidad reactiva de los agregados se materializaron los siguientes ensayos:

#### 3.5.1.1. Método Químico ASTM C 289. Ensayo H125 (ABC)<sup>6</sup>

Este ensayo establece un método para especificar la posible reactividad de los agregados y se basa en la reacción del árido con una solución valorada de hidróxido de sodio.

La realización del ensayo fue ejecutada en las instalaciones del laboratorio RIMH APROTEC del Ing. Iban Medina con la ayuda de la Ing. Luciana Porce.

### -EQUIPOS Y MATERIALES

Entre los equipos que se emplea para delimitar la reacción de los agregados están:

---

<sup>6</sup> Manuales Técnicos-Ensayos de Suelos y Carreteras. Administradora Boliviana de Carreteras

- ✓ Una balanza con buena precisión.
- ✓ Equipo de trituración y molienda que permita preparar una muestra tamizada de más de 100 gramos por banco de agregado.
- ✓ Tamices N°50 y N°100.
- ✓ Estufa de desecación para mantener una temperatura de 80° C.
- ✓ Recipientes de reacción.
- ✓ Aparatos de laboratorio químico como matraz, pipeta, capsulas, etc.

Entre los reactivos necesarios para el ensayo son los siguientes:

- ✓ Disolución de hidróxido de sodio 1N.
- ✓ Disolución patrón de ácido clorhídrico 0,05 N.
- ✓ Disolución alcohólica de fenolftaleína.
- ✓ Disolución de anaranjado de metilo.

#### **-PROCEDIMIENTO**

Se prepara la muestra pulverizando la grava de manera que pase por tamiz N°50 y se retenga en el tamiz N°100. Cuando se obtenga una muestra de más de 100 g, se procede a lavar para eliminar todos los finos y se deseca en un horno a una temperatura de 105° C por 20 horas.

Para la ejecución del ensayo se pesan tres porciones de 25 g de la muestra con 25 ml de la solución de hidróxido de sodio en un recipiente de reacción y se colocan en un horno a 80 °C por 24 horas.



*FOTOGRAFÍA III-4 BALANZA EMPLEADA PARA EL ENSAYO*

*FUENTE: elaboración propia*



*FOTOGRAFÍA III-5 MUESTRAS CON HIDRÓXIDO DE SODIO EN EL HORNO*

*FUENTE: elaboración propia*

Pasadas las 24 horas se enfría y se filtra las muestras; tomando 10 ml de filtrado se pasa a un matraz aforado de 200 ml y llenando al enrase con agua destilada.



*FOTOGRAFÍA III-6 FILTRADO DE LAS MUESTRAS*

*FUENTE: elaboración propia*



*FOTOGRAFÍA III-7 DISOLUCIÓN DILUIDA*

*FUENTE: elaboración propia*

### **Determinación gravimétrica de sílice soluble**

Se toman 10 ml de la solución diluido y se ponen en una cápsula, se añaden de 5 a 10 ml de HCL concentrado y se evapora a sequedad. Al residuo se le añaden de 5 a 10 ml de HCl y una cantidad igual de agua, para luego ponerlo a evaporación unos 10 min bien cubiertos con un vidrio.



*FOTOGRAFÍA III-8 CAÁPSULAS CON LA SOLUCIÓN Y HCl*

*FUENTE: elaboración propia*

Se diluye la disolución con 20 ml de agua destilada caliente, se filtra y se lava varias veces con ácido clorhídrico diluido (1:99), luego con agua destilada hirviendo, hasta que las aguas no se enturbien cuando se añaden unas gotas de nitrato de plata. El filtrado y las aguas de lavado se evaporan hasta alcanzar sequedad. Se saca y trata el residuo con 15 ml de ácido clorhídrico diluido 1:1, se cubre, se diluye con 15 ml de agua destilada caliente, se filtra sobre otro filtro y se lava como la porción mayor de sílice separada anteriormente.



*FOTOGRAFÍA III-9 FILTRADO DE LA DISOLUCIÓN*

*FUENTE: elaboración propia*

Se pasan a un crisol los dos filtros que contienen la sílice se secan y queman los papeles a baja temperatura, se humedece el residuo en el crisol con unas gotas de agua y se añade 10 ml de ácido fluorhídrico y una gota de ácido sulfúrico concentrado, se evapora a sequedad en una vitrina. Se calcina el residuo en 5 min en una mufla a temperatura de 1110 y 1200°C, se enfría y se pesa. La diferencia entre las dos pesadas da el peso de la sílice soluble. Se realiza el mismo procedimiento para el ensayo en blanco.

### **Determinación de la reducción en la alcalinidad**

Se toman 20 ml de la solución madre y se ponen en un matraz. Se añaden dos o tres gotas de fenolftaleína y se valora con HCl 0,05N hasta la desaparición total del color rosa de la fenolftaleína. Se anota la cantidad total de ácido clorhídrico consumido en

la valoración. Luego se añaden dos a tres gotas de anaranjado de metilo y se continúa la valoración con el mismo ácido, hasta el viraje del indicador. Se anota la cantidad total del ácido clorhídrico utilizado desde el principio de la valoración.



*FOTOGRAFÍA III-10 VALORACIÓN CON HCl DE LA SOLUCIÓN CON FENOLFTALEINA  
FUENTE: elaboración propia*



*FOTOGRAFÍA III-11 SOLUCIONES VALORADAS- A LA IZQUIERDA SOLUCIÓN CON ANARANJADO DE METILO Y A LA DERECHA SOLUCIÓN VALORADA.  
FUENTE: elaboración propia*

### 3.5.1.2. Método Acelerado de la barra de mortero ASTM C 1260.

Este método permite detectar, dentro de un periodo de 16 días, la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados en las barras de mortero.

#### **-EQUIPOS Y MATERIALES**

Entre los equipos que se emplea para la determinación de la reacción de los agregados están:

- ✓ Tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100
- ✓ Recipiente de almacenaje de las barras.

Entre los reactivos necesarios para el ensayo son los siguientes:

- ✓ Disolución de hidróxido de sodio 1N.

#### **-PROCEDIMIENTO**

El Método de las Barras de Mortero Acelerado consiste básicamente en verificar la variación de longitud de las barras de mortero sumergidos en una solución de 1N de Hidróxido de Sodio (NaOH). Las barras de mortero, preparadas de acuerdo a las normas ASTM C-227 o NBR 9773, tienen una dimensión de 25mm x 25mm x 285mm, y el dosaje del mortero es 1:2,25 (cemento: agregado) en masa y la relación agua/cemento 0,47. La Norma indica que el agregado utilizado debe tener la composición granulométrica indicada en la siguiente Tabla:

<b>TAMAÑO DE TAMIZ</b>		
<b>PASA</b>	<b>RETENIDO EN</b>	<b>MASA %</b>
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	10
2,36 mm (N°8)	1,18 mm (N°16)	25
1,18 mm (N°16)	600 um (N°30)	25
600 um (N°30)	300 um (N°50)	25
300 um (N°50)	150 um (N°100)	15

*TABLA III-23 REQUISITOS DE GRADUACIÓN DE LOS AGREGADOS*

*FUENTE: Norma ASTM -C 1260*

Luego los cuerpos prueba se ubican en una cámara húmeda inmediatamente después de haberlos moldeados y se mantienen en ella durante  $24 \pm 2$  horas. Luego se desmoldan las probetas y se efectúa una lectura preliminar.

Inmediatamente las probetas son colocadas en agua a  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ , durante 24 horas. Después de este periodo las barras son medidas (lectura inicial) y comparadas con la medida de la barra de referencia (lectura cero). Posteriormente las barras son almacenadas en solución de Hidróxido de Sodio 1N a  $80^\circ\text{C}$  por 14 días, después de la lectura inicial, y se realizan las lecturas finales verificando el porcentaje medio de tres lecturas de expansión de esos cuerpos de prueba.



*FOTOGRAFÍA. III-12 BARRAS ALMACENADAS EN LA SOLUCIÓN.*

*FUENTE: elaboración propia*

Después de transcurridos los 16 días, se calcula la diferencia porcentual entre la lectura inicial de la probeta y la lectura final con respecto al largo de la barra de referencia, con aproximación al 0,001 % y se registra la expansión promedio de las tres probetas para una combinación de cemento/agregado como la expansión para dicha combinación, con aproximación al 0,01 %.

**a.-** Cuando la expansión media de las probetas de ensayo excede de 0,20% a los 16 días del moldeo (14 días desde la medición cero), es indicativo de una expansión potencialmente perjudicial.

**b.-** Cuando la expansión media de las probetas de ensayos es menor que el 0,10% a los 16 días del moldeo, es indicativo de un comportamiento inocuo.

**c.-** Cuando la expansión media de probetas de ensayo está sobre el 0,10% y menos del 0,20% a los 16 días del moldeo, los resultados no son conclusivos todavía y se deben practicar estudios complementarios.

### 3.5.2 Resultados

#### 3.5.2.1. Método químico ASTM-C 289

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos según el manual técnico para el diseño de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras (H125):

<b>CANTERA</b>	<b>SÍLICE SOLUBLE mmol/L</b>	<b>REDUCCIÓN DE LA ALCALINDAD mmol/L</b>	<b>EVALUACIÓN</b>
<b>RANCHO</b>	107,670	238,333	Inocuo
<b>TEMPORAL</b>	33,300	80,000	Inocuo
<b>SANTA ANA</b>	36,630	150,000	Inocuo
<b>CAMACHO</b>	31,080	85,000	Inocuo

*TABLA III-24 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DEL AGREGADO- ASTM C-289*

*FUENTE: Elaboración propia*

#### 2.5.2.2. Método Acelerado de la barra de mortero ASTM C-1260

Las siguientes tablas muestran los resultados de las expansiones promedio de las barras de mortero a los 16 días después del moldeo, elaboradas con agregados naturales de la región.

**1.-TIPO DE PIEDRA: LUTITAS Y CUARCITAS**

**2.-TIPO DE CEMENTO: EL PUENTE IP-30**

**3.-EXPANSIÓN EN AUTOCLAVE Y CONTENIDO DE ÁLCALI EN EL CEMENTO**

Expansión en autoclave: 0,092%

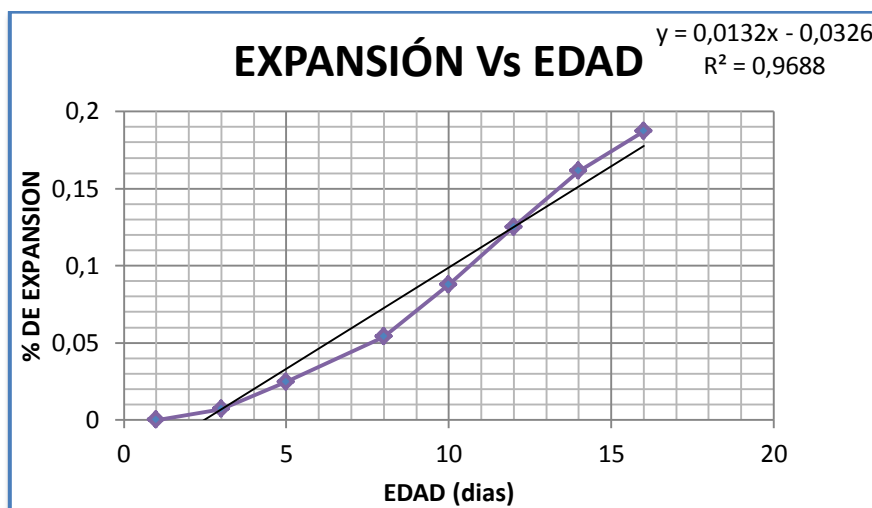
Álcali Equivalente  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  : 1,436%

**- RANCHO**

PROBETA	Lect. Inicial mm	Lect. Final mm	Lf-Lo	% de expansion	Promedio
1	285,5	286	0,5	0,17513135	0,1871394
2	284	284,4	0,4	0,14084507	
3	285,2	285,9	0,7	0,2454418	

TABLA III-25 EXPANSIÓN PROMEDIO

FUENTE: Elaboración propia



GRAFICA III-9 GRÁFICA DE LA EXPANSIÓN Vs EDAD

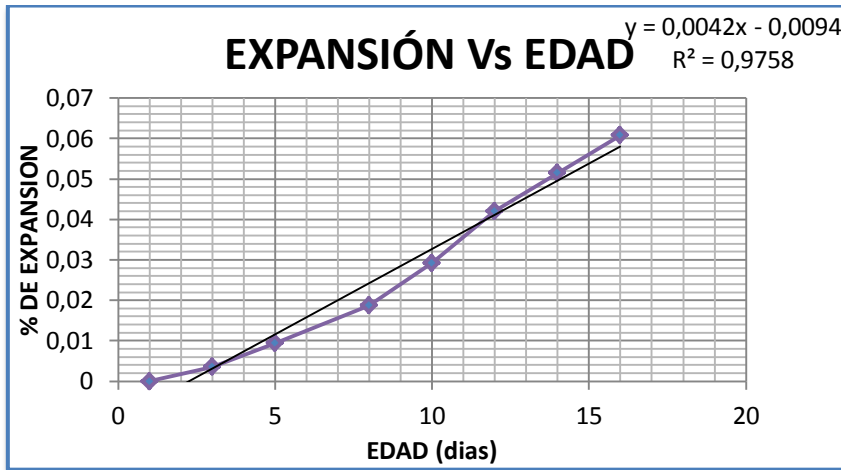
FUENTE: Elaboración propia

**-TEMPORAL**

PROBETA	Lect. Inicial mm	Lect. Final mm	Lf-Lo	% de expansion	Promedio
1	285,1	285,25	0,15	0,05261312	0,06663098
2	285,2	285,5	0,3	0,10518934	
3	285,1	285,22	0,12	0,04209049	

TABLA III-26 EXPANSIÓN PROMEDIO

FUENTE: Elaboración propia



GRAFICA III-10 GRÁFICA DE LA EXPANSIÓN Vs EDAD

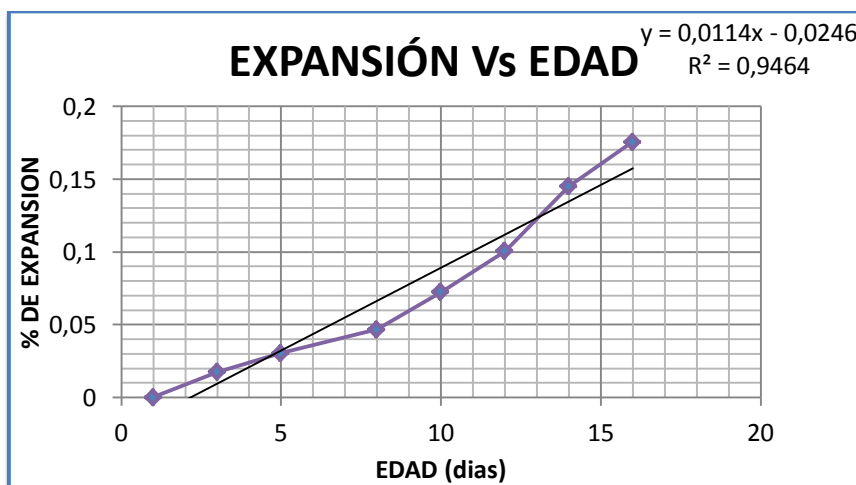
FUENTE: Elaboración propia

- SANTA ANA

PROBETA	Lect. Inicial mm	Lect. Final mm	Lf-Lo	% de expansión	Promedio
1	285	285,5	0,5	0,1754386	0,1754386
2	285	285,8	0,8	0,28070175	
3	285	285,2	0,2	0,07017544	

TABLA III-27 EXPANSIÓN PROMEDIO

FUENTE: Elaboración propia



GRAFICA III-11 GRÁFICA DE LA EXPANSIÓN Vs EDAD

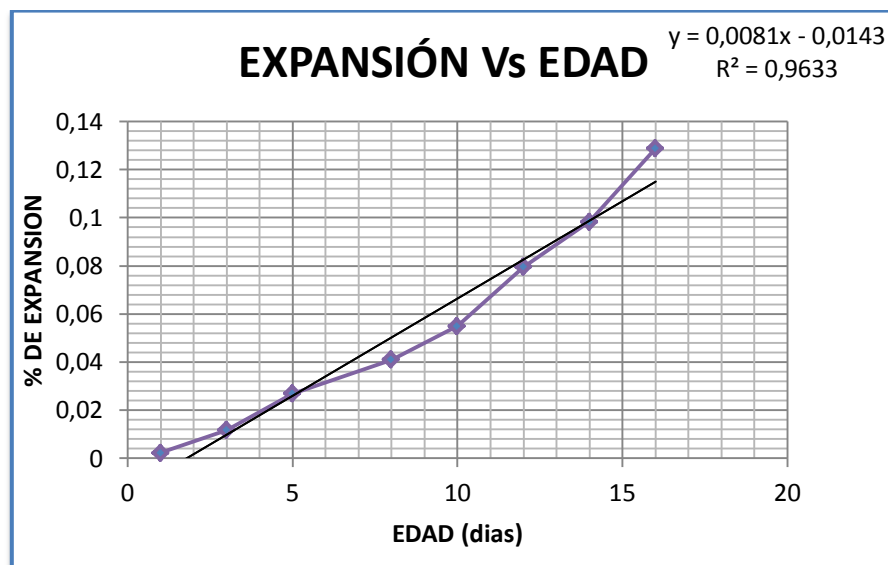
FUENTE: Elaboración propia

**- CAMACHO**

PROBETA	Lect. Inicial mm	Lect. Final mm	Lf-Lo	% de expansión	Promedio
1	285,5	285,9	0,4	0,14010508	0,12879114
2	284,3	284,9	0,6	0,21104467	
3	283,9	284	0,1	0,03522367	

*TABLA III-28 EXPANSIÓN PROMEDIO*

*FUENTE: Elaboración propia*



*GRAFICA III-12 GRÁFICA DE LA EXPANSIÓN Vs EDAD*

*FUENTE: Elaboración propia*

### 3.6. Evaluación de la Resistencia en relación a su condición Alkali-Agregado

#### 3.6.1. Elaboración de probetas

La elaboración de probetas se desarrolló en dos etapas con diferentes propósitos:

- ✓ Se tomaron en cuenta las proporciones de las dosificaciones para obtener resistencias con las características de los agregados.

- ✓ Se adoptó una dosificación patrón 1:2:3, con la misma relación agua-cemento y con granulometrías similares para todos los bancos de agregados, para relacionar sus resistencias a partir de su condición de reactividad álcali-agregado.

Para la elaboración de probetas se prepararon todos los equipos y materiales necesarios y se siguió el siguiente procedimiento:

- ✓ Se determinaron los pesos de los agregados como también del cemento.
- ✓ Se prepararon los moldes y el equipo para efectuar el mezclado (mezcladora); se limpiaron los moldes con aceite para desmoldar fácilmente las probetas.
- ✓ Para realizar el mezclado se hizo funcionar la mezcladora, seguidamente se derramó un poco de agua dentro de la mezcladora, para luego echar los agregados y el cemento de poco a poco y terminar tirando toda el agua según lo que se había obtenido en el diseño de mezclas y según sea lo necesario de acuerdo a la humedad y las condiciones en que se encontraban los agregados.



*FOTOGRAFÍA III-13 MEZCLA DE HORMIGON*

*FUENTE: Elaboración propia*

- ✓ Se verificó el asentamiento para ver la trabajabilidad del hormigón; colocando tres capas la masa de hormigón al cono de Abrams y apisonando con la varilla veinticinco golpes en cada capa, se enrazó al cono con la varilla y se retiró el mismo para lograr medir el asentamiento.



*FOTOGRAFÍA III-14 VERIFICACIÓN DEL ASENTAMIENTO DE LA MASA DE HORMIGÓN  
FUENTE: Elaboración propia*

- ✓ Después de constatar el asentamiento se llenaron los moldes en tres capas, golpeando con un combo de goma para llenar los vacíos, apisonando con una varilla de acero, y por último se enrazó bien con una plancha a todos los moldes hasta lograr una superficie lisa.



*FOTOGRAFÍA III-15 MOLDES CILÍNDRICOS CON MEZCLA DE Hº  
FUENTE: Elaboración propia*

### **3.6.2. Rotura de probetas**

Para la realización del ensayo de rotura de probetas a la compresión se utilizó el procedimiento de la norma (ASTM C 39 AASHTOT22) detallándose en los siguientes pasos.

- ✓ Limpiar la superficie de las placas de la prensa y de las caras de ensayo de la probeta.
- ✓ Colocar la probeta sobre la placa inferior de la prensa alineando su eje central con el centro de la prensa.
- ✓ Asentar la placa superior de la prensa sobre la probeta, guiándola suavemente con la mano para obtener un apoyo de la placa lo mas uniforme posible.
- ✓ Aplicar la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme.
- ✓ Registrar la carga máxima P, expresada en N.

**-CALCULOS**

Para el cálculo de la resistencia a compresión simple soportada por probeta, utilizando la siguiente expresión:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde:

R= Resistencia a la compresión simple, (Kg/cm2)

P= Carga máxima soportada por el espécimen (Kg)

A= Área promedio de la sección transversal del espécimen (cm2)

**3.6.3. Resultados**

Resistencias adquiridas del diseño de mezclas a la edad de 28 días según las proporciones determinadas y las características de los agregados:

RESISTENCIAS PROMEDIO A LOS 28 DIAS	
CANTERA	RESISTENCIA (Kg/cm2)
RANCHO	197,23
TEMPORAL	214,80
SANTA ANA	207,55
CAMACHO	208,94

*TABLA III-29 RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS DEL H°-MEZCLAS DISEÑADAS*

*FUENTE: Elaboración propia*

Resistencias obtenidas de la dosificación 1:2:3, igual relación agua–cemento, y granulometría similar.

RESISTENCIAS PROMEDIO A LOS 28 DIAS	
CANTERA	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
RANCHO	193,66
TEMPORAL	203,67
SANTA ANA	208,40
CAMACHO	212,36

TABLA III-30 RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS DEL Hº-DOSIFICACIÓN 1:2:3

FUENTE: Elaboración propia

### 3.7.- Presencia de la Reacción Álcali-Agregado en obras existentes.

El estudio de la Reacción Álcali-Agregado en estructuras existentes se caracteriza por la diversidad de circunstancias en que se presenta y porque afecta a estructuras masivas, como presas, pavimentos de hormigones y toda estructura de hormigón que este expuesta a medio ambientes húmedos y de altas temperaturas.

En diversos países del mundo se han hecho estudios en obras que presentan esta reacción con la extracción de muestras y analizando por un método petrográfico. Como un ejemplo cercano; en Tucumán Argentina se realizó un estudio sobre el tema y se encontró esta reacción en las siguientes obras:



FOTOGRAFÍA III-16 AVENIDA DE CIRCUNVALACIÓN CIUDAD DE SAN MIGUEL DE TUCUMAN

FUENTE: Ing. Silvia Palazzi; Ing. Daniel Anaya “PAUTAS PARA LA UTILIZACIÓN DE AGREGADOS REACTIVOS A LA REACCIÓN ÁLCALIS- SÍLICE EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN”.



*FOTOGRAFÍA III-17 VERTEDERO DE DIQUE EL CADILLAL  
FUENTE: Ing. Silvia Palazzi; Ing. Daniel Anaya "PAUTAS PARA LA UTILIZACIÓN DE  
AGREGADOS REACTIVOS A LA REACCIÓN ÁLCALIS- SÍLICE EN ESTRUCTURAS DE  
HORMIGÓN".*

En la ciudad de Tarija se percibieron obras que presentan manifestaciones y pueden ser causa de una posible reacción álcali-agregado:

- ✓ En la zona de San Jacinto, en la represa del mismo nombre se logró apreciar en algunas secciones del cuerpo de la presa indicios de una reacción álcali-agregado, con las manifestaciones de la reacción como se expresó anteriormente; generalmente las fisuras presentan a veces, coloración más oscura sobre sus labios y la expulsión de un material de color ámbar claro a marrón que cuando se seca es de color blanco o claro. La abertura de las fisuras puede variar desde décimas de milímetros a 2 ó 3cm. Todas estas manifestaciones se localizaron en algunos sectores de la presa y se puede contemplar principios de esta reacción.



*FOTOGRAFÍA III-18 REPRESA SAN JACINTO-PARTE IZQUIERDA DEL CUERPO DE LA PRESA  
FUENTE: Elaboración propia*



*FOTOGRAFÍA III-19 COLORACIONES Y FLUORESCENCIAS-PRESA SAN JACINTO  
FUENTE: Elaboración propia*



*FOTOGRAFÍA III-20 FISURAS EN FORMA DE CRAQUELADO Y CON COLORACIONES-  
PRESA SAN JACINTO*

*FUENTE: Elaboración propia*



*FOTOGRAFÍA III-21 REPRESA SAN JACINTO - CUERPO DE LA PRESA*

*FUENTE: Elaboración propia*

En los pavimentos se observa ondulación de las losas, rotura en forma de cuña por la presión de hinchamiento y saltaduras del hormigón. En la avenida circunvalación en la zona de Villa Avaroa se observaron estas manifestaciones que puede ser una posible reacción álcali-agregado.



*FOTOGRAFÍA III-22 AVENIDA CIRCUNVALACIÓN-FISURAS EN FORMA DE CUÑA  
FUENTE: Elaboración propia*

### **3.8. Evaluación y análisis de Resultados**

- ✓ El valle central de Tarija se encuentra formado por rocas de origen del periodo ordovícico, rocas ígneas con intercalaciones de lutitas y cuarcitas, en el estrato superior de la composición del suelo la mayor parte es arcilla que tiene un alto contenido de sílice como también las rocas, lo que indica que estas al tener este contenido en su composición química pueden reaccionar con los álcalis. En la tabla II-7 podemos observar que dentro de las rocas con alta sílice se encuentran las cuarcitas, como se mencionó en 3.2.1.2 tanto en el valle central de Tarija como en el Valle de la Concepción existe este tipo de rocas; pero de acuerdo a los resultados obtenidos los agregados no exhiben la reacción presentando expansiones menores al 0,1% en un año si el contenido de álcali en el cemento es alto.

ROCAS	COMPONENTE REACTIVO	COMPOSICIÓN QUÍMICA	NATURALEZA FÍSICA
<b>ROCAS OPALINAS</b> Esquisto, areniscas, calcedonia, calizas, silicosas, pedernales.	Ópalo Tridimita, Cristobalita	SiO <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> O SiO <sub>2</sub>	Amorfo Cristalino
<b>ROCAS VOLCANICAS VITREAS</b> Riolitas, dacitas, latitas, andesitas y tufo, basaltos.	Sílice, vidrio Amorfos	SiO <sub>2</sub> con pequeñas proporciones de Al <sub>2</sub> O, Fe <sub>2</sub> O, CaO, MgO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	Vítrea criptocristalina
<b>ROCAS CON ALTA SÍLICE</b> Arenas cuarcitas, rocas ígneas, y metamórficas como granitos, esquistos	Cuarzo cristalino	SiO <sub>2</sub>	Cristalino

*TABLA II-7 ROCAS Y MINERALES QUE PUEDEN EXHIBIR REACCIONES ÁLCALI-SÍLICE  
FUENTE: REACTIVIDAD SÍLICE-AGREGADO EN EL CONCRETO; EVALUACIÓN Y MÉTODO DE ENSAYO. Ing. Wilfredo Mandujano V. Ing. Wilfredo Quintana ARPL tecnología Industrial. Pág. 12*

- ✓ De acuerdo a los resultados de la norma ASTM-C 1260 los agregados como del Temporal que tengan expansiones menores a 0,10% a los 16 días después del moldeo de los especímenes, son indicativas de un comportamiento inocuo, es decir inofensivo en la mayoría de los casos. Para la investigación se obtuvo una expansión de 0,0666 % como se puede observar en la siguiente tabla, el resto de los agregados de Santa Ana, Camacho y Rancho presentan una expansión entre 0,10 y 0,20% a los 16 días después del moldeo de los especímenes, incluyen ambos agregados tanto inocuos como dañinos en su desempeño de campo y no son conclusivos.

CANTERA	% DE EXPANSION
RANCHO	0,1871
TEMPORAL	0,0666
SANTA ANA	0,1754
CAMACHO	0,1288

TABLA III-31 PORCENTAJES DE EXPANSIÓN

FUENTE: Elaboración propia

Como se percibe en la tabla las expansiones de Rancho son un poco más altas que el resto de los agregados.

- ✓ Según los resultados del método Químico ASTM-C 289 como se observa en la tabla III-24; todos los agregados al ser evaluados son considerados inocuos, lo que afirma y concluye con el anterior método que todos los agregados son inofensivos pero pueden tener expansiones menores a 0,1% en un año si el contenido del álcalis del cemento es mayor a 1,38%.

CANTERA	SILICE SOLUBLE mmol/L	REDUCCION DE LA ALCALINDAD mmol/L	EVALUACIÓN
RANCHO	107,670	238,333	Inocuo
TEMPORAL	24,420	60,000	Inocuo
SANTA ANA	36,630	150,000	Inocuo
CAMACHO	76,590	250,000	Inocuo

TABLA III-24 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DEL AGREGADO- ASTM C-289

FUENTE: Elaboración propia

En este caso el porcentaje de álcali en el cemento es 1,436% y según los resultados del anterior método los agregados presentan expansiones menores.

- ✓ De acuerdo al diseño de mezclas que se efectuó se obtuvieron proporciones de acuerdo a las características de los materiales tanto como los agregados y el cemento, las cuales son muy importantes para la dosificación de mezclas de hormigón.

Con las proporciones de mezcla se vaciaron probetas de hormigón que muestren resistencias a compresión a los 28 días de edad, a través de la rotura de probetas.

Como también se realizó una misma dosificación para todos los agregados (1:2:3) con la misma relación agua-cemento y granulometría para obtener resistencias a compresión que se vean influenciadas por el grado de reactividad de los agregados y el efecto que causa la reacción álcali-agregado en su resistencia; como se puede observar en las siguientes tablas los resultados muestran una variación mínima de resistencia entre ambas dosificaciones.

CANTERA	CEMENTO	ARENA	GRAVA
RANCHO	1,000	1,804	3,650
TEMPORAL	1,000	1,961	3,659
SANTA ANA	1,000	2,027	3,609
CAMACHO	1,000	2,015	3,638

DOSIFICACIÓN 1:2:3  
 REALACIÓN a/c=0,58  
 GRANULOMETRÍA SIMILAR



RESISTENCIAS PROMEDIO A LOS 28 DIAS	
CANTERA	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
RANCHO	197,23
TEMPORAL	214,80
SANTA ANA	207,55
CAMACHO	208,94



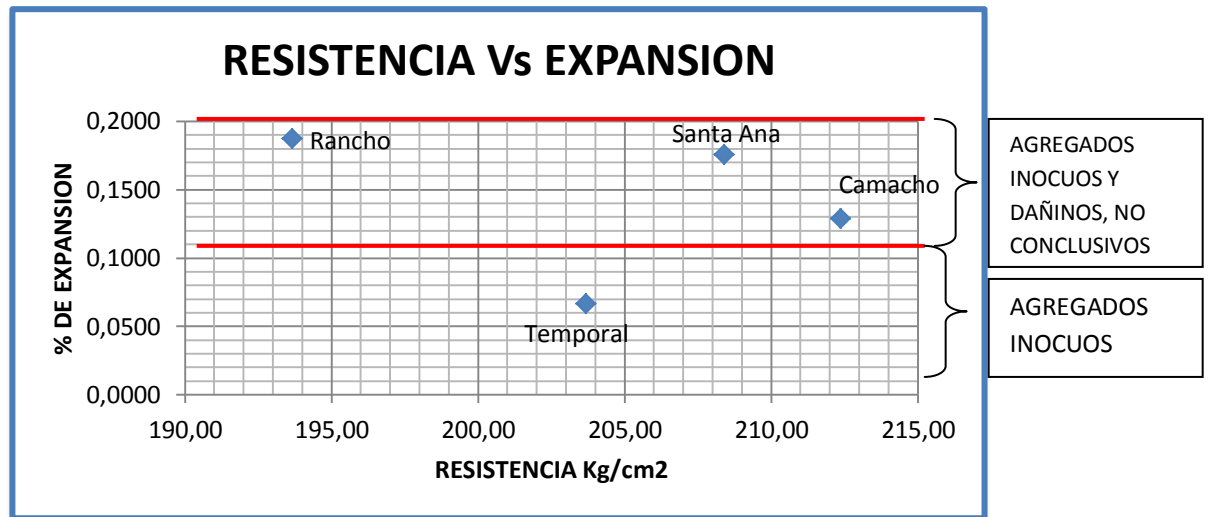
RESISTENCIAS PROMEDIO A LOS 28 DIAS (DOSIFICACIÓN 1:2:3)	
CANTERA	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
RANCHO	193,66
TEMPORAL	203,67
SANTA ANA	208,40
CAMACHO	212,36

- ✓ De acuerdo a las resistencias adquiridas de los agregados, las del Rancho están por debajo de las resistencias del resto de los agregados, con un valor promedio de 193,66 Kg/cm<sup>2</sup> con la dosificación 1:2:3, como también con las dosificaciones que se determinaron con sus características; con una resistencia promedio de 197,3 Kg/cm<sup>2</sup>. Los agregados de Camacho tuvieron una mejor resistencia promedio de 212,36 Kg/cm<sup>2</sup> con la dosificación 1:2:3 que con la dosificación diseñada.
- ✓ Con los resultados de la expansión promedio obtenida del ensayo método acelerado de la barra de mortero y las resistencias de hormigón con los agregados empleados para la investigación; se puede observar en la gráfica III-13 que la

reactividad del agregado y la expansión causada por la reacción álcali-agregado no influye significativamente en la resistencia a temprana edad del hormigón.

CANTERA	% DE EXPANSIÓN
RANCHO	0,1871
TEMPORAL	0,0666
SANTA ANA	0,1754
CAMACHO	0,1288

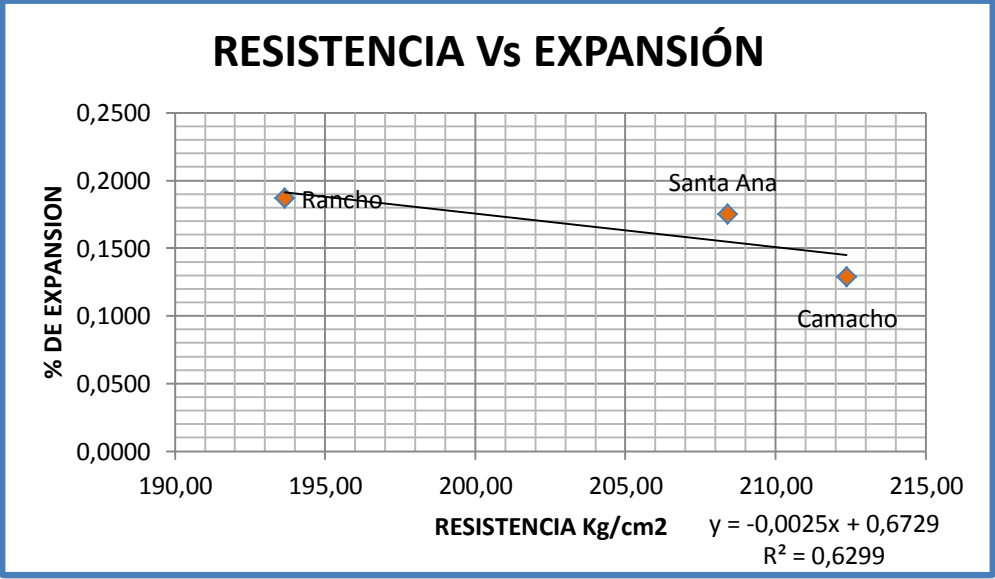
RESISTENCIAS PROMEDIO A LOS 28 DIAS (DOSIFICACIÓN 1:2:3)	
CANTERA	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
RANCHO	193,66
TEMPORAL	203,67
SANTA ANA	208,40
CAMACHO	212,36



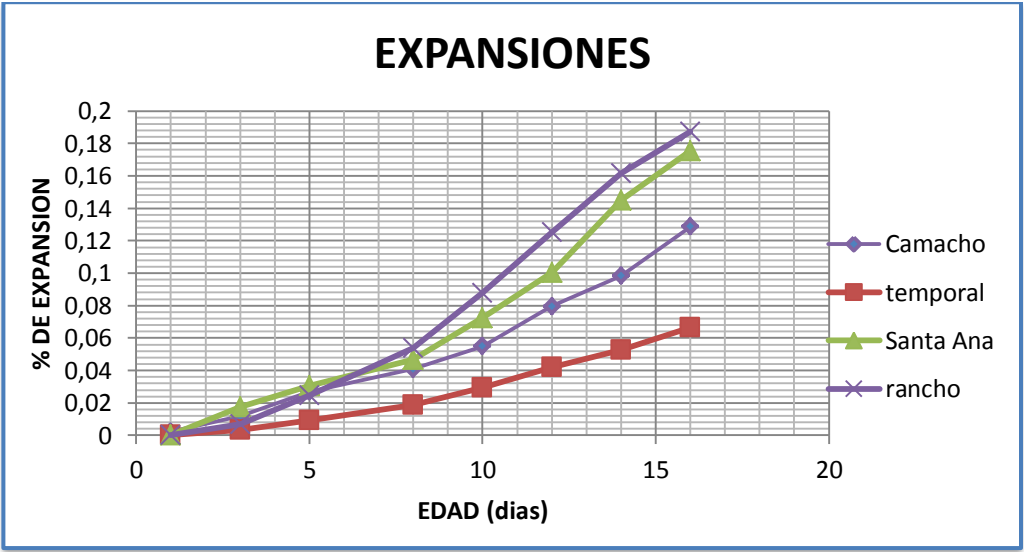
GRÁFICA III-13 RESISTENCIA VS EXPANSIÓN

FUENTE: Elaboración propia

Se realizó el análisis de las expansiones de los agregados que están dentro de ser inocuos y dañinos, como son Rancho, Santa Ana y Camacho; donde se puede observar una suave tendencia que a mayor resistencia menor reacción álcali-agregado.

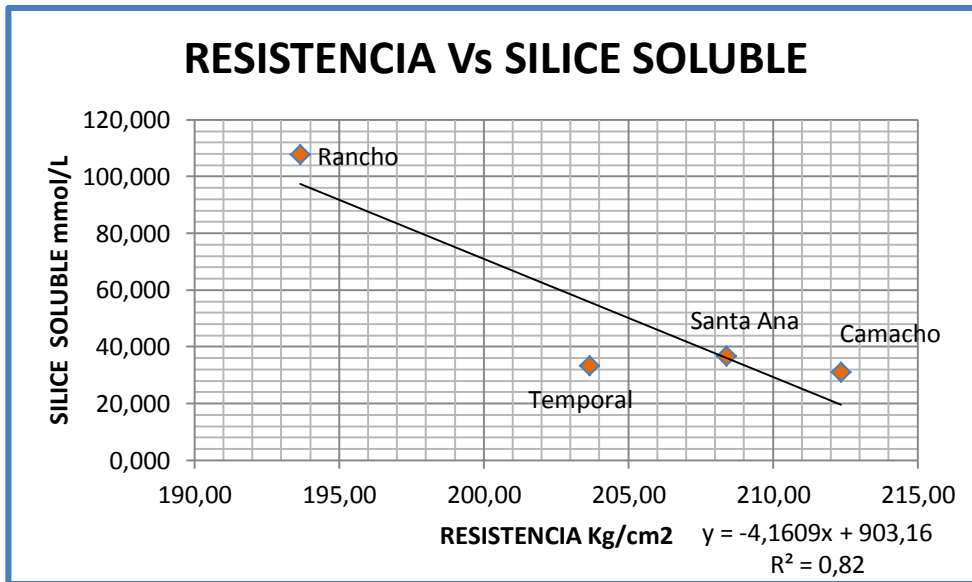


*GRAFICA III-14 RESISTENCIA VS EXPANSION-AGREGADOS INOCUOS Y DAÑINOS  
 FUENTE: Elaboración propia*



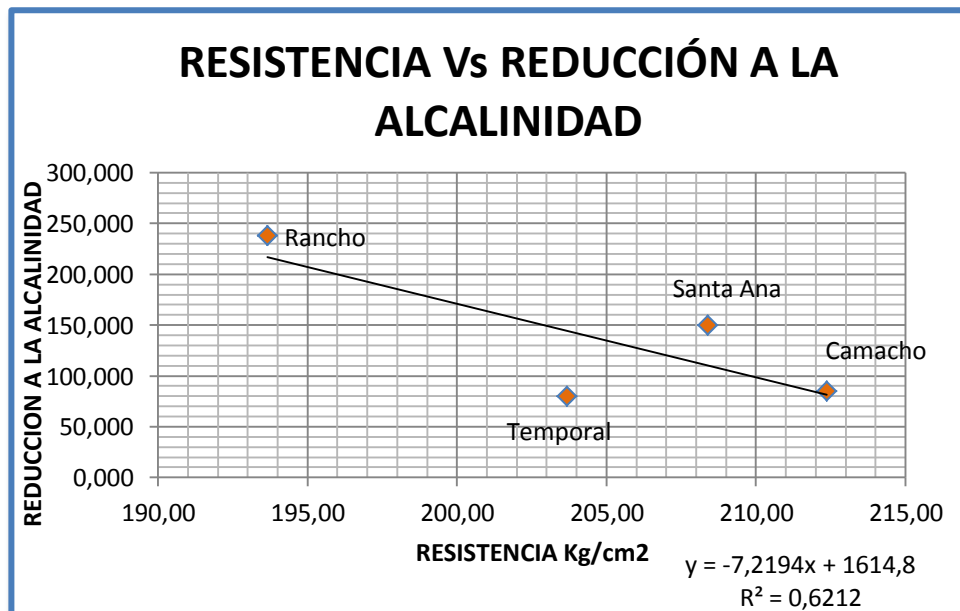
*GRÁFICA III-15 EXPANSIONES DE LOS AGREGADOS  
 FUENTE: Elaboración propia*

✓ De acuerdo a los resultados entre las resistencias y el método químico como se ve en la GRÁFICA III-16 se puede observar que la cantidad de sílice tienen una variación que muestra que a menor cantidad de sílice soluble mayor la resistencia con un rango de variación de 0,82.



*GRÁFICA III-16 SÍLICE SOLUBLE Y RESISTENCIA-Método Químico*  
*FUENTE: Elaboración propia*

En cuanto a la reducción de alcalinidad, en el caso de Temporal no tienen efecto y se confirma su condición de inocuo, en cambio el resto de los bancos tienen una tendencia suavizada de mayor resistencia a menor reducción de alcalinidad.



*GRAFICA III-17 REDUCCIÓN A LA ALCALINIDAD VS RESISTENCIA- Método Químico*  
*FUENTE: Elaboración propia*

### 3.9. Contrastación de Hipótesis

Conforme a las hipótesis planteadas al realizar la investigación se pudo verificar lo siguiente:

- ✓ De acuerdo al origen de las rocas que existen en Tarija en las localidades de Rancho, Temporal, Santa Ana y Camacho son rocas ígneas con intercalaciones de lutitas y cuarcitas las cuales poseen en su composición química sílice y al efectuar los ensayos según el método acelerado de la barra de mortero la mayoría de los agregados son inocuos como también dañinos, lo que quiere decir es que no son conclusivos y para confirmar los resultados con el ensayo químico los agregados son considerados inocuos pero al tener el cemento un contenido de álcali igual a 1,436%; estos pueden tener expansiones menores.
- ✓ Con la elaboración de probetas se pudo constatar que los agregados que tienden a ser reactivos no tienen influencia significativa a edades tempranas del hormigón, esta reacción se manifiesta lentamente y afecta a su durabilidad; esto se puede notar en estructuras que están sometidas a humedad constante y a temperaturas altas. Como presas, pavimentos, canales.
- ✓ El cemento empleado para la investigación EL PUENTE (Tipo IP) producido en nuestro país, tiene un porcentaje equivalente de álcalis igual a 1,436%, pero al tener un 18-20% de puzolana tienen la capacidad de reducir la expansión causada por la reacción álcali-sílice.
- ✓ Se ha encontrado obras como la presa de San Jacinto que está expuesta en excesiva humedad que tiene principios de fisuras y agrietamientos que puede ser causada por la reacción álcali-sílice.

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo de investigación con la elaboración de un documento importante que permita brindar información y de alguna manera guiar a los profesionales involucrados con el empleo de hormigones en la construcción, de las medidas que se pueden seguir para asegurar la durabilidad de las estructuras de hormigón con agregados de la región frente a la reacción álcali-agregado se establecen las siguientes conclusiones:

- ✓ El trabajo efectuado establece información muy importante para el área de la construcción; con la evaluación de la reactividad de los agregados que usualmente se emplean en la región para la preparación de mezclas de hormigón y estructuras que principalmente se ven afectadas por la reacción álcali-agregado, como también un análisis de su influencia a las propiedades del hormigón.

#### **-DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS Y ESTUDIADOS**

- ✓ Para determinar la caracterización de los agregados se tomaron en cuenta las recomendaciones del manual de ensayos de suelos y hormigones de la ABC, que están instaurados por la norma ASTM, para obtener propiedades que cumplan los requisitos mínimos de calidad.
- ✓ De acuerdo a las características de los agregados, se puede notar que las de los agregados de Rancho son bajas tanto en sus pesos específicos como en sus resistencias, tienen menor consistencia que el resto de los agregados y a simple vista se puede notar que son lajosos y algunas piedras se rompen al hacer un esfuerzo con las manos.
- ✓ Los agregados de los yacimientos de Santa Ana, Temporal y Camacho tienen una mejor consistencia y mejores densidades en cuanto a sus características las cuáles

establecen su uso apto para las mezclas de hormigón y la construcción de estructuras.

- ✓ Al realizar los ensayos que determinan la reactividad potencial de los agregados, tanto el método acelerado de la barra de mortero (ASTM C-1260) como el método químico (ASTM C-289) se puede observar los siguientes resultados:

<b>BANCO</b>	<b>EVALUACIÓN MÉTODO ASTM C-1260</b>	<b>EVALUACIÓN MÉTODO ASTM C-289</b>
<b>Rancho</b>	No conclusivo, inocuo y dañino	Inocuo
<b>Temporal</b>	Inocuo	Inocuo
<b>Santa Ana</b>	No conclusivo, inocuo y dañino	Inocuo
<b>Camacho</b>	No conclusivo, inocuo y dañino	Inocuo

*TABLA IV-1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS –ASTM C1260 Y ASTM C 289*

*FUENTE: Elaboración propia*

De acuerdo al método ASTM C-1260 los agregados de Rancho, Camacho y Santa Ana no son conclusivos y la norma recomienda practicar otro tipo de ensayo para poder especificar si estos son inocuos o dañinos; al efectuar el ensayo químico se concluye instituyendo que los agregados estudiados y evaluados son inocuos es decir inofensivos. Con los resultados de ambos métodos los agregados del Temporal tiene menor expansión y menor cantidad de sílice soluble confirmando su estado inerte, en cambio los resultados de Rancho de ambos métodos son un poco más altos que el resto de los agregados.

- ✓ Los agregados empleados para la investigación de Rancho, Camacho, Temporal y Santa Ana tienen formas de sílice inerte, son inofensivos y no dañinos al concreto frente a la reacción álcali-agregado; lo cual establece que dichos agregados son aptos para el uso de la construcción de estructuras.

#### **-DEL CEMENTO EMPLEADO USUALMENTE EN LA REGIÓN.**

- ✓ El cemento empleado para la investigación es un cemento de tipo IP con un porcentaje adicionado de puzolana de 18-20% lo cual según investigaciones realizadas, este porcentaje hace que la reacción disminuya y no se presenten expansiones representativas en el hormigón.
- ✓ El porcentaje equivalente de álcalis permitido para que no reaccionen los agregados y no se produzca una reacción-sílice debe ser menor a 0,6% y el cemento empleado usualmente en la región y para la investigación tiene un valor igual a 1,436% de álcali, lo que establece que se debe tener cuidado al trabajar con agregados que sean potencialmente reactivos.

#### **-DE LA RESISTENCIA**

- ✓ La resistencia a compresión que se obtuvo de las mezclas de hormigón diseñadas con las características de los agregados a una resistencia estándar de 210 Kg/cm<sup>2</sup> dieron aproximadas, las de menor resistencia fueron las de la cantera del Rancho que no llegaron a la resistencia diseñada como el resto de los agregados. También se realizó mezclas de hormigón con una dosificación 1:2:3, una misma relación agua-cemento y con granulometrías similares para poder instaurar una relación entre la reacción álcali-sílice de los agregados.

<b>CANTERA</b>	<b>RESISTENCIA MAX DOSIFICACION DISEÑADA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>RESISTENCIA MAX. DOSIFICACION 1:2:3 (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>RANCHO</b>	209,35	203,06
<b>TEMPORAL</b>	224,47	211,72
<b>SANTA ANA</b>	216,05	213,51
<b>CAMACHO</b>	218,70	212,36

*TABLA IV-2 RESISTENCIAS MÁXIMAS OBTENIDAS*

*FUENTE: Elaboración propia*

- ✓ Con la elaboración de probetas convencionales para determinar la resistencia del hormigón se pudo verificar que los agregados que tienden a ser reactivos no tienen influencia significativa en la resistencia a edades tempranas del hormigón, esta reacción se manifiesta lentamente y afecta a su durabilidad; pero existe una tendencia suavizada de que los agregados con mayor resistencia tienen menor reacción álcali-agregado, esto se puede observar en las gráficas de análisis de resultados.

### **-DE LA IMPORTANCIA EN LA CONSTRUCCIÓN**

- ✓ La reacción álcali-agregado es considerada como el cáncer del hormigón y reacción álcali-sílice que ha sido un tema estudiado y de mucha importancia en varios países del mundo, y como nosotros un país que está en desarrollo y progreso desde el punto de vista estructural con obras nuevas y de gran magnitud; es necesario y fundamental tomar en cuenta esta patología que puede ser prevenida y evitada tomando medidas apropiadas antes de la construcción de obras.
- ✓ De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en los ensayos para la determinación de la reacción álcali-agregado; los agregados son inocuos y tienen expansiones menores si el contenido del álcali en el cemento es mayor a 1,38%; el cemento que frecuente se emplea en la región tiene un contenido mayor como se mencionaba anteriormente pero este al abarcar un porcentaje representativo de puzolana inhibe y disminuye la reacción álcali-agregado; es decir que los agregados son inofensivos con el cemento que empleamos en la región.
- ✓ Las obras que están sometidas a humedad y a grandes temperaturas como pavimentos rígidos, presas, canales, fundaciones, etc. Necesitan mayor importancia al estar en riesgo de la patología reacción álcali-agregado del hormigón y tomar las medidas necesarias para un mejor resultado y mayor durabilidad.

- ✓ Para que se produzca una expansión peligrosa es imprescindible el aporte de agua desde el exterior sobre el hormigón ya fraguado, para que los agregados reactivos reaccionen con los álcalis que contiene el cemento o el aporte del ambiente; pero además en muchos casos el medio ambiente con sus cambiantes características meteorológicas, también crea factores externos que pueden iniciar o provocar aumentos en la reacción, siendo muy importante realizar un análisis de las condiciones a las que las obras serán sometidas antes de construirlas y tomar medidas necesarias para evitar problemas posteriores.
  
- ✓ Cuando se haya efectuado el análisis respectivo y se encuentre presencia de la reacción álcali-agregado; se puede efectuar las siguientes acciones para inhibir la reacción álcali-sílice:
  - Reemplazo total o parcial de los áridos reactivos por otros inertes.
  - Incorporación al cemento, mortero u hormigón de sustancias inhibidoras de la reacción.
  - Utilización de cemento que cumpla con las exigencias de cemento resistente a la reacción álcali-agregado.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Al momento de realizar el diseño de mezclas y de la elección de los áridos que serán empleados para la construcción de obras es imprescindible conocer la reactividad potencial de los agregados frente al álcali o someterlos a pruebas que determinen la reacción álcali-agregado, para evitar expansiones representativas con fisuras y agrietamientos que afectan a la estética de la estructura, deterioros rápidos del hormigón, refaccionamientos y reparaciones costosas.
  
- ✓ Actualmente en la ciudad de Tarija no se cuenta con ningún laboratorio para realizar los ensayos que determinen la reacción álcali-agregado porque no se ha dado la importancia necesaria a este tema en la construcción. La implementación

de laboratorios del campo del cemento y la construcción deben ponerse a la altura de las crecientes exigencias poniendo a punto los métodos y normas técnicas más usuales, así como capacitar permanentemente al personal técnico. Identificar y coadyuvar en la evaluación, localización y mapeado de las canteras de agregados de nuestro país.

- ✓ Se recomienda que al momento de elaborar las probetas cilíndricas estas deben ser fabricadas siguiendo las normas de ensayo, el curado debe ser el mismo para todas las muestras, los especímenes no deben presentar daños externos; para obtener resultados mejores.