

**REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO (RAA): EXPERIENCIAS EN PRESAS  
COLOMBIANAS, ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRINCIPALES VARIABLES  
QUE INTERVIENEN EN EL FENÓMENO**

**“REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO (RAA): EXPERIENCIAS EN PRESAS COLOMBIANAS, ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRINCIPALES VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL FENÓMENO”**



**LEIDY JOHANNA MELO JIMENEZ**

*Presentación final del protocolo de Investigación para optar por el título de  
Magíster en Construcción*

**DIRECTOR:**

**Ing. José Gabriel Gómez Cortés**

**CODIRECTOR**

**Ing. Juan Manuel Lizarazo Marriaga**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

Sede Bogotá

Facultad de Artes

Maestría en Construcción.

*Bogotá D.C. Junio de 2014*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>7</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>10</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>11</b>
1.1 IDENTIFICACIÓN:	11
1.2 FORMULACIÓN:	11
1.3 DELIMITACIÓN:	12
1.4 OBJETIVO GENERAL	13
1.4.1 <i>Objetivos Específicos</i>	13
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>14</b>
2.1 ANTECEDENTES	14
2.2 BASE TEÓRICA	16
2.2.1 <i>Definición de reactividad álcali agregado (RAA)</i>	16
2.3 TIPOS DE RAA	20
2.3.1 <i>Reactividad álcali sílice (RAS)</i>	20
2.3.2 <i>Reactividad álcali carbonato (RAC)</i>	24
2.3.3 <i>Reactividad álcali silicato (RASi)</i>	24
2.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FENÓMENO RAA	25
2.4.1 <i>Agregados</i>	25
2.4.2 <i>Contenido de álcalis del cemento</i>	31
2.4.3 <i>Agentes externos</i>	35
2.4.4 <i>Adiciones minerales</i>	37
2.5 SINTOMATOLOGÍA DEL RAS	39
2.6 TÉCNICAS PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO	43
2.7 PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE RAA	51
<b>3. CASO DE ESTUDIO A</b>	<b>53</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	53
3.1.1 <i>Fundación</i>	53
3.1.2 <i>Geometría Externa</i>	54
3.1.3 <i>Zonificación</i>	54
3.1.4 <i>Cara de concreto</i>	56

3.1.5 Plinto	57
3.2 TIPOS DE AGREGADO UTILIZADOS EN LA OBRA	58
3.3 TIPO DE CEMENTO IMPLEMENTADO EN LA OBRA	62
3.3.1 <i>Características del Concreto utilizado</i>	64
3.4 AGENTES EXTERNOS	66
3.4.1 <i>Temperatura ambiente</i>	66
3.4.2 <i>Humedad Relativa</i>	66
3.5 ADITIVOS EMPLEADOS EN LA MEZCLA	66
3.5.1 <i>Escoria de alto horno</i>	66
3.5.2 <i>Humo de sílice</i>	66
3.5.3 <i>Ceniza volante de Termotasajero</i>	67
3.5.4 <i>Aditivos plastificantes y súperplastificantes</i>	70
3.6 TIPO DE ENSAYOS REALIZADOS PARA DETERMINAR PRESENCIA DE RAS	71
3.7 ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS	74
<b>4. CASO B</b>	<b>78</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	78
4.1.1 <i>Geometría externa</i>	78
4.1.2 <i>Zonificación de la presa</i>	78
4.1.3 <i>Juntas en la cara de concreto</i>	80
4.1.4 <i>Plinto</i>	81
4.2 TIPOS DE AGREGADO UTILIZADOS EN LA OBRA	81
4.2.1 <i>Fuente de los agregados La Fortuna</i>	81
4.2.2 <i>Fuente el cuenco</i>	81
4.3 TIPO DE CEMENTO EMPLEADO EN LA OBRA	84
4.3.1 <i>Características del Concreto fabricado</i>	86
4.4 AGENTES EXTERNOS	89
4.4.1 <i>Temperatura ambiente</i>	89
4.4.2 <i>Humedad Relativa</i>	89
4.5 ADITIVOS EMPLEADOS EN LA MEZCLA	89
4.5.1 <i>Agentes incorporadores de aire</i>	89
4.5.2 <i>Aditivos reductores de agua y para control de fraguado</i>	90
4.5.3 <i>Humo de sílice</i>	90
4.5.4 <i>Ceniza volante de Termotasajero</i>	90

4.6	TIPO DE ENSAYOS REALIZADOS PARA DETERMINAR PRESENCIA DE RAS	90
4.7	ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS CASO B	92
<b>5.</b>	<b>ESPECIFICACIÓN PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL DE LA RAA EN CONCRETOS A INSTALAR EN OBRAS COMO PRESAS</b>	<b>95</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1	Esquema del proceso de RAA .....	7
Figura No. 2	Esquema de tipos de RAA .....	8
Figura No. 3	Esquema de las fases que tiene el fenómeno de RAA.....	19
Figura No. 4	Esquema de velocidad de crecimiento del gel.....	22
Figura No. 5	Modelo de como aparecen las fisuras para el tipo de RAS. Fuente (Hobbs, 1988). .....	23
Figura No. 6	Modelo de micro- fisuras y macro-fisuras. Fuente (Hobbs, 1988).....	24
Figura No. 7	Comportamiento de los álcalis en sílice cristalina y amorfa.....	28
Figura No. 8	Efecto pésimo de agregados. Fuente: ICOLD- Boletín 79,1991. ....	28
Figura No. 9	Desarrollo del efecto pésimo de agregados. Fuente (Alaejos & Bermúdez, 2003).....	29
Figura No. 10	Distribución típica del tamaño de una partícula, fuente: (Asociación Colombiana de productores de concreto- ASOCRETO, 2010). .....	30
Figura No. 11	Efecto del tamaño de las partículas sobre la relación entre la expansión y tiempo: proporción w/c=0,41. Proporción agregado/cemento=3. Fuente (Hobbs, 1988). .....	31
Figura No. 12	Modelos de fisuras, fuente: (Alaejos & Bermúdez, 2003). ....	40
Figura No. 13	Zonificación de los rellenos de la Presa Principal. Fuente: (Consorcio Desarrollo Guajira e INCODER, 2011). ....	56
Figura No. 14	Cara de Concreto. Fuente (Consorcio Desarrollo Guajira e INCODER, 2011).....	57
Figura No. 15	Zonificación de los rellenos de la Presa Principal. Fuente: (amb Embalse de Bucaramanga, INAR ASOCIADOS S.A, CONALVIAS CONSTRUCCIONES, INTEGRAL INGENIEROS CONSTRUCTORES, 2012).....	80
Figura No. 16	Difractograma de polvo de muestra de Cemento Portlan Tipo I – Cemex a granel. Fuente Propia.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1	Valoración de los posibles casos de estudio.....	12
Tabla No. 2	Clasificación de las rocas según la fuente de agregado en Colombia. ....	14

Tabla No. 3	Adaptaciones del método acelerado de las barras de mortero en cuanto a los límites de expansión y tiempo adoptados en diferentes países (Bellew 1997). .....	15
Tabla No. 4	Minerales, rocas y materiales sintéticos que pueden ser potencialmente reactivos con los álcalis del cemento. ....	25
Tabla No. 5	Rocas descripción del componente Reactivo. Fuente(Alexander & Mindess, 2010) .....	26
Tabla No. 6	Distribución de material según la geografía Colombiana. ....	26
Tabla No. 7	Adiciones Minerales. Fuente (Alaejos & Bermúdez, 2003) .....	38
Tabla No. 8	Indicios de RAS según tipo de presa, fuente (Alaejos & Bermúdez, 2003) .....	42
Tabla No. 9	Ensayos para determinar RAA, fuente (Alaejos & Bermúdez, 2003). ....	44
Tabla No. 10	Información sobre obras anexas de la presa Caso A. ....	54
Tabla No. 11	Descripción de la zonificación de presa .....	54
Tabla No. 12	Geometría de Plinto.....	58
Tabla No. 13	Husos Granulométricos.(Consortio Desarrollo Guajira e INCODER, 2011). ....	59
Tabla No. 14	Gradación Histórica de los agregados pétreos del Caso A. ....	61
Tabla No. 15	Resultados de parámetros químicos años (2009-2010).....	62
Tabla No. 16	Resistencias a la compresión del cemento empleado en el Proyecto. ....	63
Tabla No. 17	Características de los concretos implementados en el caso A.....	64
Tabla No. 19	Alcalinidad de la ceniza. ....	70
Tabla No. 20	Principales características de la presa y obras anexas. Fuente (amb Embalse de Bucaramanga, INAR ASOCIADOS S.A, CONALVIAS CONSTRUCCIONES, INTEGRAL INGENIEROS CONSTRUCTORES, 2012) .....	78
Tabla No. 21	Descripción de la zonificación de presa. Fuente (amb Embalse de Bucaramanga, INAR ASOCIADOS S.A, CONALVIAS CONSTRUCCIONES, INTEGRAL INGENIEROS CONSTRUCTORES, 2012) .....	79
Tabla No. 22	Características de las juntas de la cara de concreto. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014) .....	80
Tabla No. 23	Características del plinto. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014) ..	81
Tabla No. 24	Resultados de parámetros químicos. Fuente propia.....	84
Tabla No. 25	Características de los concretos implementados en el caso B. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014).....	86
Tabla No. 27	Diagrama de Flujo correspondiente a la especificación y control de RAA en concretos a instalar en Presas. ....	97

## **LISTADO DE GRAFICAS**

Gráfica No. 1.	Condiciones para estabilizar el fenomeno de RAS. Fuente : (Segarra Foradada, 2005)- Hobbs (1988). ....	21
Gráfica No. 2.	Influencia del contenido en álcalis en la expansión del hormigón. Fuente (Mehta, 1986) .....	32

Gráfica No. 3.	Curva de expansión según el contenido de álcali del cemento. Fuente:(Veronelli, 1978) .....	33
Gráfica No. 4.	Efecto de humedad relativa sobre la expansión usando la ASTM C 1293. Fuente(Pedneault, 1996). .....	35
Gráfica No. 5.	Influencia de la temperaturas sobre la expansión causada por la RAS. Fuente (Shon, 2008).....	36
Gráfica No. 6.	Mecanismo para controlar la reactividad Álcali Agregado. Fuente (Manissero, FMC Corporation, Lithium Division, & Lithium Technology Manager, 2006). .....	51
Gráfica No. 7.	Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico-material 3”. .....	59
Gráfica No. 8.	Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico-material 1 1/2”. .....	60
Gráfica No. 9.	Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico-material 3/4”. .....	60
Gráfica No. 10.	Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico-material Arena Merlin No. 4. ....	60
Gráfica No. 11.	Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico-material aluvial río Ranchería. ....	61
Gráfica No. 12.	Comparativo de composición química de la ceniza volante años 2008 y 2009. ....	69
Gráfica No. 13.	Estimación de % de álcalis de la ceniza volante .....	70
Gráfica No. 14.	Determinación del potencial reactivo de los agregados en la fase inicial de diseños de mezcla .....	72
Gráfica No. 15.	Potencial reactivo de los agregados en la fase final de diseños de mezcla – Incluyendo Escoria .....	72
Gráfica No. 16.	Potencial reactivo de los agregados en la fase final de diseños de mezcla – Incluyendo ceniza Volante de termotasajero. ....	73
Gráfica No. 17.	Potencial reactivo de los agregados en la fase final de diseños de mezcla – Incluyendo polvo de roca.....	73
Gráfica No. 18.	Potencial reactivo de los agregados en la fase final de diseños de mezcla – Incluyendo humo de sílice .....	73
Gráfica No. 19.	Comparativo de comportamiento de las adiciones minerales probadas para mitigar la RAS en el caso A. ....	75
Gráfica No. 20.	Resultados de granulometría de arena. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014) .....	82
Gráfica No. 21.	Resultados de granulometría de grava de 16mm. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014) .....	83
Gráfica No. 22.	Resultados de granulometría de grava de 25m. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014) .....	83
Gráfica No. 23.	Curvas comparativas de expansión según la dosificación de la adición mineral propuesta para la fuente agregados denominada La fortuna. ....	91
Gráfica No. 24.	Curvas comparativas de expansión según la dosificación de la adición mineral propuesta para la fuente agregados denominada Cuenco.....	91
Gráfica No. 25.	Comparativo de comportamiento de las adiciones minerales probadas para mitigar la RAS en el caso B. ....	93

## RESUMEN

El presente documento incluye la información disponible en el medio, referente al fenómeno de Reactividad Álcali Agregado (RAA), particularmente en concretos que conforman estructuras como presas. Diferenciando las principales variables que intervienen en el fenómeno, los síntomas más relevantes, las técnicas para determinar el potencial reactivo y los métodos usados para prevenir y/o tratar los efectos ocasionados por la aparición de la RAA. Adicionalmente se presenta el análisis de dos casos de estudio, que incluyen dos presas en Colombia. En los cuales se analizan las variables determinantes, los resultados obtenidos y las distintas soluciones dadas para mitigar el efecto de la reactividad en el tiempo. Finalmente se incluye un modelo de especificación para evaluación y control de RAA en concretos a instalar en presas, el cual propone de forma ordenada y sencilla los pasos a seguir para llevar el control por parte de diseñadores, constructores e interventores de este tipo de obras; así como recomendaciones para evitar daños en el concreto por este proceso.

Palabras clave: RAA- variables- recomendaciones- presas

### **Abstract**

The present document includes information available in the middle, with reference to the phenomenon of Alkali-Aggregate Reactivity (AAR), particularly in concrete forming structures such as dams. Differentiating the main variables involved in the phenomenon, the most relevant symptoms, techniques to determine the reactive potential and the methods used to prevent or treat the effects caused by the appearance of the AAR. Additionally, the analysis of two case studies, including two dams in Colombia. It was determined variables, the results obtained and the solutions to mitigate the effect of reactivity in the time. Finally, is includes a specification model, for evaluation and control of AAR in concrete to install in dams, is proposes orderly and simple steps to follow by designers, builders and auditors of this type of works; as well as recommendations to prevent damage to the concrete by this process.

Key words: AAR-variables-recommendations - dams



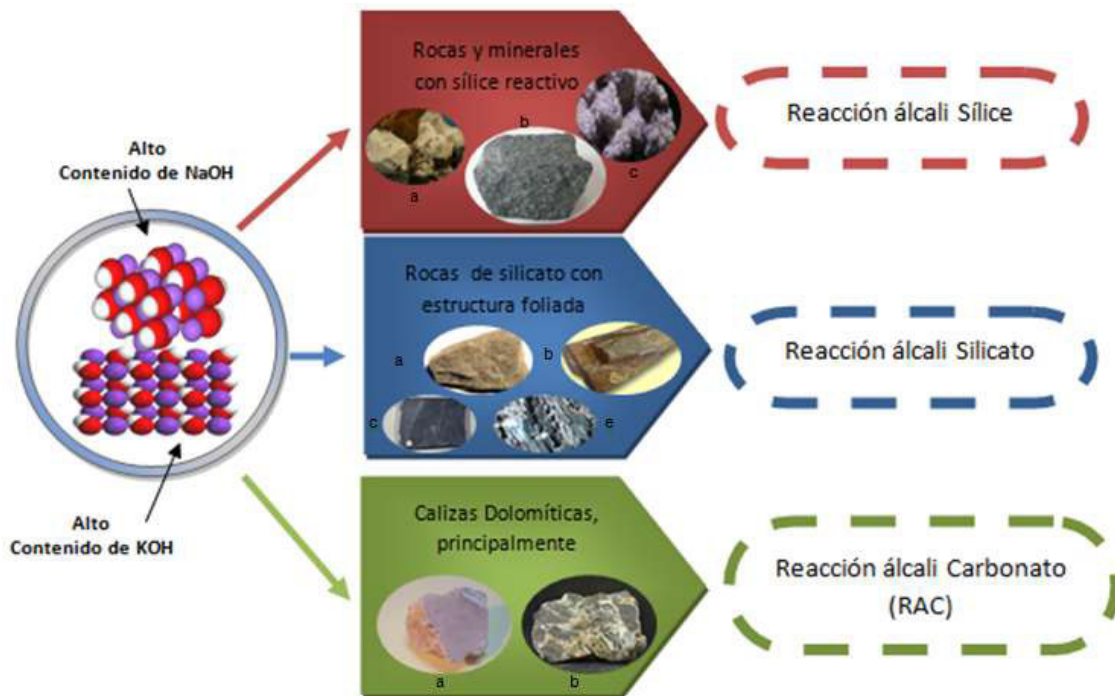
## INTRODUCCION

La reactividad Álcali Agregado (RAA), fundamenta uno de los más serios problemas constructivos en el concreto, por contribuir a la destrucción de su masa. El fenómeno que se produce es una reacción de la sílice reactiva, presente en algunos agregados, con los álcalis del cemento (hidróxido de sodio, hidróxido de potasio). Generándose un gel expansivo que termina por agrietar y finalmente destruir la masa de concreto (del orden del 30% fue causado por la inadecuada selección de los materiales según resultados obtenidos por Sanjuán y Castro (2001))<sup>1</sup>. Su origen está dado principalmente por agregados con alto contenido de sílice reactiva que al unirse con los álcalis del cemento con un alto nivel de alcalinidad, ocasionan una expansión al interior del concreto a nivel microscópico y macroscópico.



Figura No. 1 Esquema del proceso de RAA.

Teniendo en cuenta que la RAA se divide en RAS (Reactividad Álcali Sílice) y RAC (Reactividad Álcali Carbonato), dependiendo de los componentes químicos de los agregados; se obtiene un comportamiento físico - químico con el cemento, de ahí que sea importante previamente caracterizar las fuentes de los materiales pétreos y definir la posible reacción a la hora de construir cualquier estructura.



- Reacción álcali sílice: a) Ópalo Normal, b) Riolita y c) Calcedonia.
- Reacción álcali silicato: a) Gres Blanco, b) Esquisto, c) filita y d) Esquisto foliado.
- Reacción álcali carbonato: a) Dolomita y b) Caliza Dolomítica.

Figura No. 2 Esquema de tipos de RAA

Tal y como lo describen en su artículo Hernández C. y Mendoza E. (2006), las principales estructuras afectadas por el fenómeno del RAS son las obras hidráulicas como se indica cronológicamente, su descubrimiento y réplica en más de 35 países y 14 estados de Estados Unidos lo confirman. Sus efectos fueron principalmente en plantas hidráulicas, estructuras submarinas, nucleares y presas.

En el caso Colombiano el tema ha llamado la atención de los investigadores, ya que a la fecha se han construido más de 45 presas en buena parte del territorio y de las cuales se tiene reporte de al menos dos con este problema. De ahí que la investigación se centró en dos (2) presas. Como característica, una de ellas ya fue construida en la Guajira (caso A) y la otra está en construcción actualmente en la ciudad de Bucaramanga (caso B). Para los dos casos se buscó establecer la información relevante sobre este fenómeno. Estas dos presas fueron seleccionadas porque se trata de proyectos similares con características constructivas semejantes, para el caso A se proporciona información de una presa ya terminada que facilita el análisis y resultado de los métodos preventivos y de control implementados frente al problema y con

el caso B se analizan los métodos preventivos que se están implementando por tratarse de una presa en construcción.

Adicionalmente, conociendo las diferencias geológicas entre un lugar y otro de extracción o fuente del material de los agregados, se contribuye en la futura conformación de un protocolo de caracterización de los materiales usados y su respectiva zonificación para futuros investigadores.

Para los dos casos de estudio se revisan los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados para el análisis de la RAA según lo establecido en las normas como la NTC 175<sup>2</sup> equivalente a la ASTM C 289 y otras como la ASTM 1260<sup>3</sup>.

Con los resultados de caracterización se pretende establecer un protocolo de información y recomendaciones para los diseñadores y constructores del país, encaminados en proyectos como presas o hidroeléctricas, con uso de volúmenes de hormigón que abarcan el 50 % o más de las actividades de las obras.

## JUSTIFICACIÓN

Los efectos negativos en términos económicos debido a la presencia de grietas ocasionadas por la RAA trae como principal consecuencia dejar fuera de servicio la obra construida con efectos como: el aumento en costos por reparaciones no previstas que pueden ser de tipo parcial o incluso total (reconstrucción) como lo cita (Hernández–Castañeda & Mendoza–Escobedo, 2005) adicionalmente demoras en la entrega a satisfacción ante el cliente de las obras (la estimación de los atrasos en este tipo de obras depende del tiempo requerido para la caracterización de los agregados según el tipo de fuente a usar, de ahí que para cada fuente de agregado se requiere como mínimo de un mes de ejecución de ensayos de laboratorio para determinar si es reactivo y sus posibles soluciones, tiempo que si bien se logra subsanar en proyectos largos, son de cuidado cuando no se han previsto en la programación general de la obra o cuando no se contemplan desde la fase de diseño), así como el detalle estético que genera inseguridad para el cliente, por fundamentar la idea de la destrucción total de la estructura construida.

Lo anterior son problemas frecuentes que llaman la atención de los investigadores, en particular cuando los efectos varían de un lugar a otro sin existir información unificada sobre la situación de las experiencias Colombianas, ya que estas pueden ayudar a prevenir las dificultades presentadas en proyectos en desarrollo o futuros. Lo anterior teniendo en cuenta que los efectos de la RAA en muchos casos son mitigables siempre y cuando se actué antes de ser construidas las obras.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 IDENTIFICACIÓN:

La reactividad álcali agregado (RAA) se manifiesta en su forma externa como una red de agrietamientos o fisuras cerradas en forma de “piel de cocodrilo”, en ocasiones con exudación de gel producto de la reacción, juntas cerradas, o la simple dislocación de las estructuras hechas de concreto.



Foto No. 1. Detalle del resultado de un concreto afectado por RAA. (Piel de cocodrilo). Fuente CIP de la NRMCA

### 1.2 FORMULACIÓN:

En el caso de las estructuras de concreto, la RAA tiene lugar cuando alguna de las partículas de los agregados (arena como agregado fino y grava como agregado grueso), está compuesta con un alto contenido de sílice (susceptible a reaccionar con los álcalis del cemento). Las cuales reaccionan activamente ante los hidróxidos de álcalis del cemento<sup>4</sup>, formando un gel expansivo al interior del concreto. Que se da de forma microscópica en sus primeras etapas conformando micro-fisuras y se exterioriza posteriormente, incluso después de transcurrir años de construidas, con grietas de ancho igual o mayor a 2 ó 3 cm, lo anterior según los ensayos de laboratorio para RAA con expansiones mayores de 0.040%.<sup>5</sup>

### 1.3 DELIMITACIÓN:

La RAA es uno de los problemas más difíciles de controlar en un concreto. Al ser su acción progresiva en el tiempo y ser uno de los pocos fenómenos netamente “endógenos”, (que tienen origen y progresión dentro del material); hace prácticamente imposible ejercer un control a “posteriori”, por tal razón todas las acciones deben ser preventivas. Con el fin de eliminar su ocurrencia o minimizar su acción (Kosmatka & Farny, 1997), se debe tener en cuenta que para que el proceso de RAA tenga continuidad o se presente dentro del concreto, este debe tener procesos de humedecimiento por la penetración de agua por fuentes externas; que estimulan la activación de la reacción entre el álcali y las partículas de sílice. De esta forma generando un aumento del volumen del gel producido<sup>6</sup> que es la causante del problema. En consecuencia, con el advenimiento de la construcción de grandes obras civiles en el país, en particular obras donde las estructuras de concreto se someten a procesos permanentes o intermitentes de humedecimiento y secado, el enfoque de esta investigación se encaminó a analizar la información existente sobre estructuras como presas, en que las características (altura, tipo de presa y materiales) fueran similares y facilitarían la delimitación a por lo menos dos casos de estudio. Por ello, se realizó un inventario de las principales represas construidas o en construcción en el país, tomando como características de selección la zona en que se encuentren ubicadas, fecha de construcción, tipo de presa, altura de la presa, ancho de cresta, longitud de cresta y volumen útil del embalse, además de la información disponible. (Ver Anexo 1).

Para realizar la selección de los casos de estudio se partió de aquellos proyectos que no tuvieran más de diez (10) años de construidos en razón a la disponibilidad de información. Otro de los filtros fue la región ya que el fenómeno que se pretende estudiar, se presenta con más facilidad en zonas donde existen condiciones de temperaturas promedio o superiores a 24° C que facilitan la aparición de los procesos de humedecimiento y secado. Quedando como resultado las presas que se presentan en la Tabla No. 1.

**Tabla No. 1** Valoración de los posibles casos de estudio

DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA				
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm <sup>3</sup> )
1	Presa de Guarinó	Caldas	2010	Concreto compactado con rodillo	7	-	37	-
2	Represa Río Ranchería	Guajira	2010	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	110	8	378	194,87
3	Proyecto Hidroeléctrico de Sogamoso	Santander	2013	Presa en gravas con cara de concreto (CFRD)	190	-	345	4800
4	Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo	Huila	2014	Presa en gravas con cara de concreto (CFRD)	151	-	632	1824
5	Embalse de Bucaramanga	Santander	2016	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	103	10	270	14,6

De la selección presentada en la Tabla No. 1, se descartaron las presas que no tuvieran similitudes constructivas, como tipo de presa y altura. En este sentido las presas que se seleccionaron como casos de estudio fueron la presa Rio Ranchería (Caso A) y la presa del embalse de Bucaramanga (Caso B) ya que presentaron menos diferencias y lo más importante, reportaron seguimiento al tema de RAA.

## **1.4 OBJETIVO GENERAL**

Establecer un estado de arte del fenómeno de (RAA) en Colombia, mediante una revisión bibliográfica, la recopilación y análisis de información obtenida en la construcción de dos presas situadas en diferentes regiones con características constructivas similares, donde se determine las principales variables que causan el problema y el mecanismo implementado para prevenirlo o combatirlo.

### **1.4.1 Objetivos Específicos**

- ✓ Recopilación de los procedimientos de ensayos más usuales y recientes para evaluar la reactividad álcali-sílice.
  - Caracterización mediante ensayos de expansión ASTM 1260 y/o de petrografía, de las rocas o minerales que se encuentran en los agregados usados en los dos (2) casos de estudio, que pueden ser potencialmente reactivos con los álcalis del cemento.
- ✓ Revisión de la información más relevante, disponible actualmente en nuestro medio, sobre cementos y en particular el manejo de la alcalinidad.
- ✓ Determinación de las características de cada proyecto hidráulico (conformación de la presas, tipos de enrocado y obras expuestas) ubicando los lugares de mayor influencia del fenómeno de RAA.
- ✓ Recopilación de parámetros de humedad y temperatura determinados en los dos (2) casos de estudio y sus implicaciones en el favorecimiento del fenómeno de RAA.
- ✓ Consecución de información entre diseñadores, constructores e interventores de los casos seleccionados, sobre estudios y maneras en que han enfrentado el problema.
- ✓ Revisión de los principales sistemas de control de la reactividad existentes en el mundo y los empleados actualmente en el país.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1 ANTECEDENTES

El tema propuesto para esta investigación, tiene como antecedente informes y estudios adelantados desde la década de los 30 en EU, específicamente en California, donde se observaron fisuras y expansiones en estructuras de concreto; sin embargo, los estudios más elaborados tuvieron lugar a partir de 1970, donde consideraron los efectos de la RAA y por ende se buscó entender mejor el fenómeno. Actualmente existen muchas obras afectadas por el problema en más de 35 países (Cavalcante-da Silva, Barreto-Monteiro, & Duarte-Gusmão, 2011) en obras como carreteras pavimentadas, aeropuertos, diques, puertos, puentes y cimentaciones de muchas estructuras (Figueirôa & Andrade, 2007).

Para el caso latinoamericano, Brasil ha adelantado investigaciones en diferentes regiones sobre dicha patología (Figueirôa & Andrade, 2007). Donde se evidenciaron diversos casos de RAA, detallando los tipos de rocas y sus componentes en diversos sectores. Para el caso Colombiano se cuenta con información de los sitios potencialmente reactivos en la NTC 174 (Quinta actualización- Anexo A- pág. 18). Donde se reportan algunos lugares y tipos de rocas de las fuentes de materiales. (Ver Tabla No. 2).

**Tabla No. 2** Clasificación de las rocas según la fuente de agregado en Colombia.

No.	Terreno	Rocas fuente de agregados
1	Garzón	Intrusivos granitoides, charnoquitas, migmatitas, granulitas, neises félsicos.
2	Payandé	Intrusivos granitoides, riolitas, traquitas, andesitas, migmatitas, granulitas, neises félsicos, calizas, areniscas.
3	Cajamarca	Intrusivos granitoides, neises, cuarcitas, mármoles.
4	Cauca Romeral	Plutones calcoalcalinos, andesitas, basaltos toleíticos, neises, esquistos, liditas o cherts.
5	Dagua	Plutones calcoalcalinos, basaltos toleíticos, calizas, liditas o cherts.
6	Cañas Gordas	Plutones calcoalcalinos, basaltos toleíticos, calizas, liditas o cherts.
7	Baudó	Basaltos pobres en k, liditas, calizas.
8	Sinú	Liditas y calizas
9	Buriticá	Plutones calcoalcalinos, andesita, basaltos, tobas, liditas
10	San Jacinto	Calizas, liditas, areniscasm calcáreas.
11	San Lucas	Granitoides, lavas riolíticas y riolitas, tobas, neises cuarzo fedespláticos.
12	Santander	Granitoides, riolitas, andesitas, neises félsicos, mármoles, calizas.
13	Perijá	Granitoides, riolitas, tobas riolíticas, calizas.
14	Sierra Nevada	Granitoides, riolitas, andesitas, neises félsicos, calizas.
15	Baja Guajira	Riolitas, espilitas de bajo Al, esquistos félsicos, mármoles, calizas.
16	Cosinas	Granitoides, flujos riolíticos, neises félsicos, mármoles, calizas.

\* Fuente: INGEOMINAS, U.S.G.S., 1983, mapa de terrenos geológicos de Colombia, publicaciones geológicas especiales de Ingeominas, Bogotá; HOYOS P.F. y Mejía V.M. VII Simposio sobre patología de construcciones. Reactividad Alcalina de los agregados pétreos en Colombia. Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín



En el caso de las presas en Colombia, como se ha precisado en el numeral 1.3 del presente documento, se buscó obtener información de presas con similares características que admitieran realizar una determinación de las variables comunes que son las causantes de la incidencia del fenómeno, sin embargo es de aclarar que en nuestro país existen alrededor de 47 presas (Ver Anexo 1). De las cuales aproximadamente el 89.36%, se encuentran ubicadas al sur occidente y centro del país y solo el 10,64% en el norte del país, por esta razón los nuevos proyectos a construir se ubican en la zona norte. De lo anterior y teniendo en cuenta la selección descrita en el numeral 1.3 del presente documento, se ratificaron los casos de estudio previstos, Caso A: se trata de una presa ubicada en la Guajira llamada presa El Cercado; la cual finalizó su construcción en el año 2010 y de la cual se tiene información del estudio y control realizado al tema de reactividad álcali agregado; y como se buscó comparar variables que permitieran analizar actividades preventivas, se consideró apropiado trabajar con el Caso B; presa actualmente en construcción ubicada en Santander conocida como la presa sobre el río Tona – Embalse de Bucaramanga que igualmente está manejando el tema de estudio.

Durante los últimos años el mecanismo implementado para la determinación del fenómeno en nuestro país; ha sido a través de la realización del método acelerado, para barras de mortero según la ASTM C 1260-07. Esta norma analiza la potencialidad desfavorable del agregado en un espacio de tiempo muy reducido. En ocasiones se hace indispensable no solo realizar este ensayo por el término de 16 días, según lo recomendado por la ASTM; sino que se extienda incluso a 28 o 30 días<sup>7</sup>. Su límite en términos de tiempo varía así como el límite de la expansión según cada país; como se relaciona en la Tabla No. 3.

**Tabla No. 3** Adaptaciones del método acelerado de las barras de mortero en cuanto a los límites de expansión y tiempo adoptados en diferentes países (Bellew 1997).

País	Edad (días)	Límite de expansión (%)
África del sur	12	0.11
Italia	12	0.10
Australia	10-22	0.10
Canadá –CSA A23.2-25A	14	0.15
Estados Unidos –ASTM C 1260	14	0.10
Noruega	14	0.15
Argentina	28	..

\*Fuente Cavalcante-da-Silva et al.7 Ingeniería 15-1 (2011) 9-17.

En nuestro medio lo establecido como límite de expansión, para 16 días es de 0.10%. Considerando lo anterior es preciso indicar que existen métodos más precisos; pero caracterizados por ser más costosos y en ocasiones que requieren de un tiempo más prolongado en su realización. Por estas razones hacen que su uso sea limitado como es el caso de ensayos petrográficos, ensayos rápidos químicos, el gel pat test, la celda osmótica, rayos x y prisma de concreto.



Foto No. 2. Medición de la expansión en el ensayo ASTM 1260. Fuente: Ing. Gabriel Gómez

## 2.2 BASE TEÓRICA

### 2.2.1 Definición de reactividad álcali agregado (RAA)

Como lo mencionó Pasquel (2009)<sup>8</sup> la similitud de la RAA con el VIH o incluso con el cáncer, se debe a que comparte muchos síntomas en la forma en que se presenta como ocurre con las enfermedades, solo que para este caso atacando al concreto. En su análisis indica que el fenómeno, al igual que la enfermedad están latentes por 5 o más años sin que se evidencie o manifieste ningún síntoma; sin embargo, una vez activado inicia un deterioro progresivo e incremental con el tiempo. Con consecuencias en la mayoría de los casos bastante destructivas además que se caracteriza por su difusión a nivel mundial.

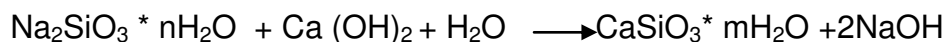
De este modo se puede decir que la RAA, consiste en un fenómeno que ataca al concreto desde su fabricación. Su aparición es causada por la reacción química entre algunos compuestos de los agregados, los álcalis del cemento (óxido de sodio y óxido potasio), la presencia de humedad y alteraciones de la temperatura en un indeterminado tiempo. Como resultado de estas reacciones

químicas justo alrededor de las partículas más gruesas de los agregados se forma un gel que va cambiando de volumen debido a la absorción de agua hasta romper la estructura interna del concreto como resultado de las tensiones provocadas por las geles hidratadas<sup>9,10,11</sup>, lo cual ocasiona altas presiones en los agregados formando micro-fisuras que posteriormente pueden desintegrar la estructura que conforman.

El ataque supone la rotura de la estructura silícea del agregado por los iones hidroxilo, seguido de la absorción de los iones álcali por los nuevos productos de la reacción. Los geles de silicato alcalino, al entrar en contacto con el agua, se hinchan al embeber gran cantidad de agua por osmosis. (Alaejos & Bermúdez, 2003). La reacción que se produce es:



La gel alcalina reacciona con el hidróxido cálcico que proviene del cemento hidratado, lo que produce el intercambio iónico debido a que se liberan nuevamente los álcalis, de este modo se generan reacciones expansivas sucesivas, lo cual se puede expresar con la siguiente fórmula:



Por lo tanto, lo que existe en el hormigón es una gel sílico – calco- alcalina que corresponde a la etapa intermedia entre la gel alcalina y el cálcico. Así mismo la valencia<sup>1</sup> y concentraciones relativas de los cationes presentes en el gel, son los que determinan finalmente en qué medida la expansión avanzará.

El gel con poco calcio y alto contenido de álcali es más expansivo, debido a que los iones bivalentes como el calcio producen menos densidad de carga superficial, que los iones monovalentes como es el caso de un catión de sodio.

---

<sup>1</sup> La valencia, es el número de electrones que tiene un elemento en su último nivel de energía, son los que determinan una reacción química o establecen un enlace con otro elemento.



**Foto No. 3.** Detalle de Agregado opalino agrietado por reactividad álcali-agregado. Fuente: Handbook for identification of alkali-silica reactivity in airfield pavement.

A continuación se presenta de manera esquemática el modelo que describe las fases de la RAA.



**Fase 1** – El agregado reactivo se encuentra rodeado de la pasta de cemento con álcalis (Na y K) y radicales OH.



**Fase 2** – La presencia de agua activa la Reactividad Álcali Agregado generando la producción de gel expansiva



**Fase 3** – Aumenta el hinchamiento y empieza la aparición de fisuración en la estructura de concreto a nivel microscópico causada por la presión hidráulica que ocasiona la gel producida al interior del agregado reactivo y la pasta de cemento.

**Figura No. 3** Esquema de las fases que tiene el fenómeno de RAA

## 2.3 TIPOS DE RAA

Los principales procesos que fomentan el declive o daño del concreto en Presas tienen que ver con la RAA la cual puede ser RAS (Reactividad Álcali Sílice) y RAC (Reactividad Álcali Carbonato), dependiendo del tipo de agregado implementado (Segarra Foradada, 2005), por lo cual se pueden diferenciar según las propiedades de los materiales:

### 2.3.1 Reactividad álcali sílice (RAS)

El RAS o ASR (*Alkali silica reactivity*) se define, como la reacción entre los álcalis del cemento y ciertas partículas de sílice de los agregados; que producen un gel que al embeber agua, aumenta de volumen generando expansiones y agrietamientos; lo cual fue descubierto en 1930 por el Profesor Thomas E. Stanton, director de California State Highway Division.

Como lo describe (Segarra Foradada, 2005); durante la fabricación del hormigón, al hidratar el cemento Portland se presenta una solución intersticial que contiene, hidróxidos de calcio (presente en forma cristalizada), sodio y potasio (presentes en forma de solución).

Tal y como se indicó en la figura 3 las altas presiones osmóticas causan la expansión. “Las geles de silicato alcalino pueden ejercer grandes presiones de imbibición durante el proceso expansivo, mayores que la resistencia a tracción del hormigón”(Segarra Foradada, 2005).

Las fórmulas químicas que describen el fenómeno<sup>2</sup> se presentan a continuación:

- Reacción 1: la reacción es de tipo ácido-base, se neutralizan los grupos de silanol (Si-OH); por la solución alcalina con sosa caústica<sup>3</sup> NaOH=Na<sup>+</sup>: primero el grupo de silanol reacciona con el OH<sup>-</sup>, y da como producto el Si-O<sup>-</sup>, que al reaccionar con Na<sup>+</sup>, produce un gel de silicato.

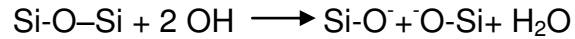


---

<sup>2</sup> Según el Boletín 79 del ICOLD (1991)

<sup>3</sup> Sosa Caústica: es una sustancia química compuesta por sodio, hidrogeno y oxigeno altamente corrosiva (NaOH), es sólido de color blanco y sin olor. Con propiedades higroscópicas por lo que absorbe fácilmente la humedad del aire, muy alcalina con alta solubilidad en agua.

- Reacción 2: ataque de los puentes de siloxeno por la solución alcalina, lo que provoca una desintegración de estructura y el paso de la sílice en solución al estado de iones positivos ( $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ).

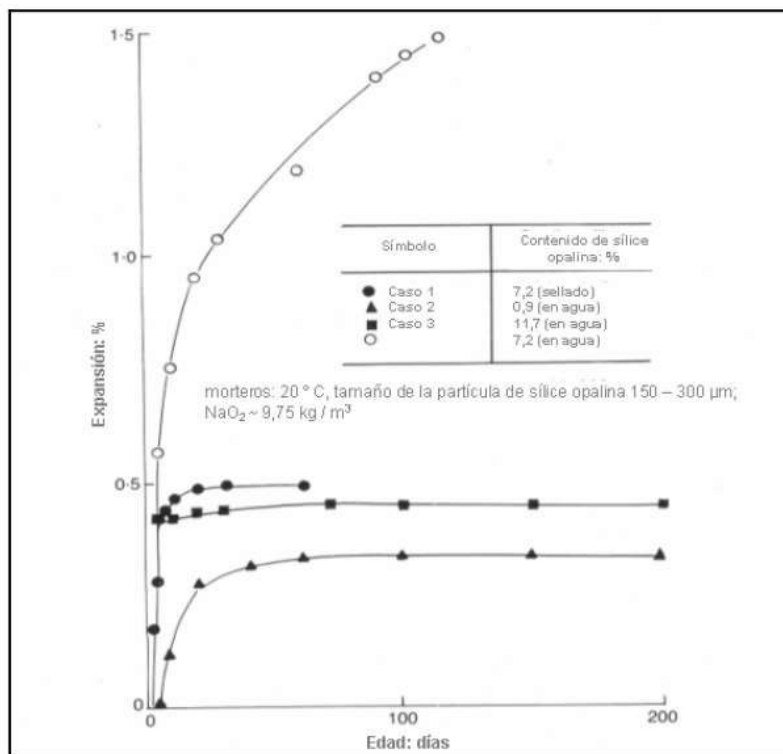


→ En solución  $\text{H}_2\text{SiO}_4$

De lo anterior se precisa, que la presencia de iones  $\text{OH}^-$  son indispensables para que surja la reacción. Adicionalmente es necesario que exista Sílice reactiva, álcalis de sodio y de potasio (en cantidades abundantes), y agua (proveniente de fuentes externas).

A continuación se presenta mediante la Gráfica No. 1, las condiciones para que se dé una estabilización o cese del fenómeno de RAS, después de iniciado el proceso.

**Gráfica No. 1.** Condiciones para estabilizar el fenómeno de RAS. Fuente : (Segarra Foradada, 2005)- Hobbs (1988).

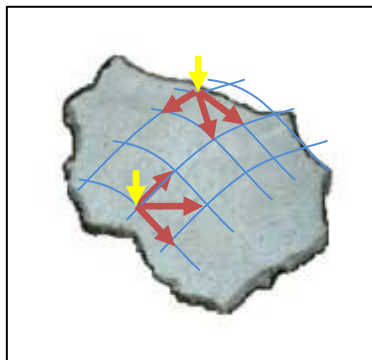


Como lo indica (Segarra Foradada, 2005), la reacción cesa cuando alguno de los reactivos se consume, o cuando la concentración de los iones hidroxilo es tan baja que la sílice reactiva no es atacada.

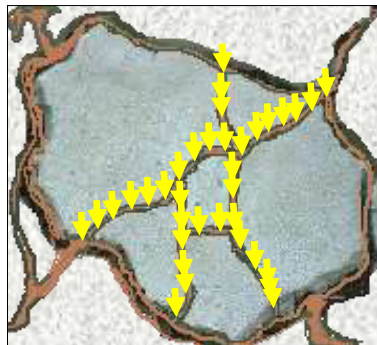
De la Gráfica No. 1, se establecen los siguientes casos:

- a) La expansión cesa cuando ya no hay agua disponible.
- b) La expansión se estabiliza cuando se reduce toda la sílice disponible.
- c) La concentración de metal alcalino o la de ion hidroxilo se reduce a un nivel umbral.

Es importante resaltar que la expansión para este tipo de reactividad; es el resultado de las tensiones provocadas, por el aumento de gel al absorber el flujo intersticial; el cual depende del volumen de concentración del gel y la velocidad de incremento del mismo.



A menor velocidad de crecimiento del gel, las fuerzas internas se disipan por la migración del gel a través del hormigón.



A mayor velocidad de crecimiento del gel, las fuerzas internas superan el límite máximo; llegando a generar fisuras y expansión en el hormigón.

(\*) Las flechas amarillas indican los puntos de concentración de gel, los cuales se distribuyen a distintas velocidades en el hormigón.

Figura No. 4 Esquema de velocidad de crecimiento del gel.

A continuación se presenta el modelo creado por (Hobbs, 1988) sobre cómo se van formando las fisuras al interior del hormigón. (Segarra Foradada, 2005).



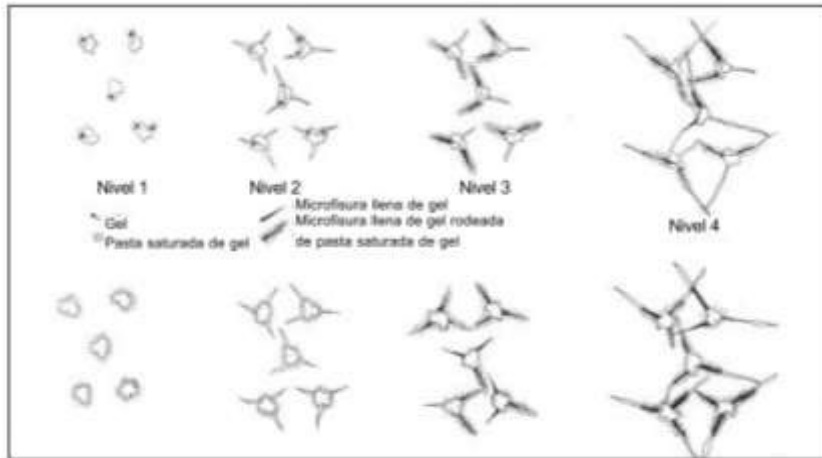


Figura No. 5 Modelo de como aparecen las fisuras para el tipo de RAS. Fuente (Hobbs, 1988).

En qué consisten estos niveles:

Nivel 1: el gel aumenta provocando tensiones internas, pero no hay presencia de micro-fisuras

Nivel 2: las tensiones provocadas son lo suficientemente grandes para causar micro-fisuras cerca de las partículas reactivas, ocurre una expansión pero esta es insignificante.

Nivel 3: La gel se dirige hacia las micro-fisuras iniciando un lento aumento de las fuerzas internas.

Nivel 4: las fuerzas internas provocadas en torno a la gel que llena las micro-fisuras son lo bastante grandes para ocasionar micro-fisuras ampliables produciendo grandes grietas.

Otras características importantes a considerar y de las cuales depende la cantidad y ancho de fisuras es:

- Geometría de la estructura de hormigón.
- La existencia de armadura.
- Cargas aplicadas.

Otro modelo que representa el efecto del RAS en el hormigón es el correspondiente, a micro-fisuras y macro-fisuras a continuación:

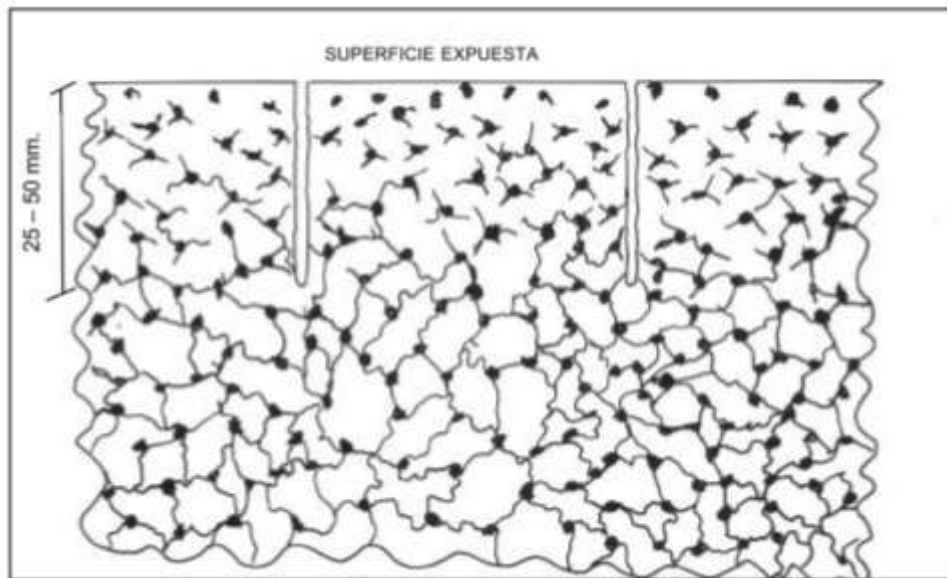


Figura No. 6 Modelo de micro- fisuras y macro-fisuras. Fuente (Hobbs, 1988).

Como se observa del modelo previsto de fisuras por RAS:

- a. Las macro-fisuras se limitan a una profundidad aproximada de 50 mm, de la superficie expuesta de la estructura de hormigón o el equivalente a un décimo del grosor de la pieza. (Segarra Foradada, 2005)
- b. Las capas superficiales de la estructura de hormigón, están sometidas a tensión mientras que el núcleo está sometido a compresión.

### 2.3.2 Reactividad álcali carbonato (RAC)

La RAC o ACR (Alkali Carbonate Reactivity), se define como la reacción que tienen ciertos agregados dolomíticos, al contacto con los álcalis del cemento y algunos carbonatos; originando la gel expansiva y en consecuencia la fisuración; esta versión de reactividad fue descubierta en el año 1957 por el profesor E. G. Swenson, del National Reserach Council, Canadá.

### 2.3.3 Reactividad álcali silicato (RASi)

La RASi, en principio se clasificaba como un tipo de reactividad y por este motivo se hacia la clasificación; sin embargo según los últimos estudios como lo menciona (Segarra Foradada, 2005), “se creía que el mecanismo de la reacción era distinto para las rocas con minerales silíceos cristalizados que para las rocas con estructura más desordenada, distinguiéndose la reacción álcali silicato (RASi) de la reacción álcali Sílice (RAS) respectivamente. Sin embargo se ha demostrado que no es así y que la reacción es la misma, solo que en función del grado de cristalización de la sílice, la cinética de la reacción varia, dándose más rápidamente cuanto menor es este grado.

Por este motivo no se considerará como un tipo de reactividad diferente al de reactividad álcali sílice.

## 2.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FENÓMENO RAA

### 2.4.1 Agregados

#### 2.4.1.1 Composición

La reactividad álcali-sílice (RAS) es la más común, ya que un buen número de minerales tienen los componentes reactivos. Caso contrario ocurre con la reactividad álcali- carbonato (RAC) ya que su ocurrencia es muy escasa porque muchos de los agregados que tienen los componentes reactivos no se usan para la fabricación de concreto por no cumplir con propiedades de resistencia y dureza establecidas en normas vigentes.

En el caso de Latinoamérica buena parte del territorio está recorrida por la cordillera de los Andes, y en su cadena montañosa dentro de sus compuestos se halla la sílice en abundante proporción, dado que es la principal fuente del problema. En la Tabla No. 4 se relacionan los distintos minerales, rocas y materiales que pueden contener sílice o carbonato.

**Tabla No. 4** Minerales, rocas y materiales sintéticos que pueden ser potencialmente reactivos con los álcalis del cemento.

Reacción álcali sílice	Reacción álcali carbonato
Andesitas, argilitas, calcedonia, ciertas calizas, ciertas dolomitas, cristobalita, cuarcita, cuarzosa, dacitas, esquistos, filita, gneiss granítico, ópalo, pizarras opalinas, pizarras silíceas, riolitas, tridimita, vidrio silíceo, vidrio sintético	Calizas dolomíticas, dolomitas calcíticas, dolomitas de grano fino

\*Fuente: Enrique Pasquel., RAA el VIH del concreto, centro de investigación tecnológica del cemento y el concreto CITEDEC, Lima, Perú. Sección Laboratorio del concreto 2009.

Según Oberholster en Suráfrica, las rocas con agregados potencialmente reactivos son:

**Tabla No. 5** Rocas descripción del componente Reactivo. Fuente(Alexander & Mindess, 2010)

<b>Ígneas</b>	<b>Metamórficas</b>	<b>Sedimentarias</b>
Granitos Más de 30% de cuarzo deformado, Granodioritas caracterizado por la extensión Charnockitas ondulatoria. Piedra pómez Cristales volcánicos ricos en sílice, Riolitas de ácidos intermedios; cristal Andesitas desvitrificado tridita. Dacitas, Latitas, Perlitas, Obsidianas, Tobas volcánicas Basaltos Calcedonia, ópalo, palagonita.	Gneises Más de 30% de cuarzo deformado, Esquistos caracterizado por la extinción Cuarcitas ondulatoria. Cuarzo deformado como el anterior, 5% o más de caliza. Corneanas Filosilicatos, cuarzo deformado. Filitas Argillitas.	Areniscas Cuarzo deformado, 5% o más de caliza. Grauwacas(*), Caliza, Pedernal Filosilicatos, cuarzo deformado, cuarzo criptocristalino, chaldenony, ópalo.

(\*)Para este tipo de roca, la determinación del constituyente reactivo es difícil, ya que el causante de la reacción ha sido identificado como un cuarzo micro cristalino, que se halla en filosilicatos (clorita, vermiculita, mica y grupos de mineral de arcilla)(Alaejos & Bermúdez, 2003).

En minerales de sílice amorfa, ejemplo: ópalo, sílex, calcedonia, vidrio volcánico que se incluyen en rolitas, la reacción es más rápida y el daño causado se detecta a partir de los 5 años.(Alaejos & Bermúdez, 2003)

En minerales de rocas como el cuarzo micro-cristalino o criptocristalino algún contenido de cuarzo deteriorado- granito, la granodiorita, cuarzo diorita, grauwaca, metagrauwaca filítica, arenisca, argilita , filita, melonita, gneis, cuarcita. La reacción es más lenta y los daños se detectan de 10 a 20 años después de construidas, el ritmo de expansión va de 10 a 150 \*10<sup>-6</sup> mm/mm por año. (Alaejos & Bermúdez, 2003)

Desde el punto de vista geología colombiana las rocas, mencionados en la Tabla No. 6 se encontrarían distribuidas en el país así:

**Tabla No. 6** Distribución de material según la geografía Colombiana.

<b>Roca</b>	<b>Ubicación</b>
Ópalo, uno de los materiales considerados potencialmente más peligrosos, presentes en significativa proporción en fuentes de agregado fino y grueso	En las zonas de la Costa Atlántica y Alto Magdalena.
Granodioritas:	En los batolitos, es decir Antioquia, Santander, Tolima.
Piedra pómez (obsidiana):	En la parte sur de la Cordillera Central y occidental, especialmente Nariño
Andesitas	En la Cordillera Central, desde Nariño al Norte de Caldas, y Occidental.

<b>Roca</b>	<b>Ubicación</b>
Tobas volcánicas	Zona sur del país (Nariño).
Basaltos	En los mismos sectores donde está presente la andesita, es decir, Cordillera Central, desde Nariño al Norte de Caldas.
Gneises y esquistos	Sierra Nevada de Santa Marta, Cordillera Central en el sur de Antioquía, en el macizo de Santander y estribación de la Cordillera Oriental entre Mocoa y Puerto Alegre.
Cuarcitas	A lo largo de la Cordillera Central. En la cordillera Occidental intercalaciones en Dagua y Nare.
Filitas	Casi en las mismas zonas donde se presentan los Gneises y esquistos, es decir, Cordillera Central, en el macizo de Santander y estribación de la Cordillera Oriental.
Areniscas, calizas y grauwacas (areniscas sucias)	En la Cordillera Oriental.
Pedernales o Sherts	Parte sur de la Cordillera Central y aluviones del Alto Magdalena, Costa Atlántica y Cordillera Oriental.
Diatomitas	En el sector de Mosquera (Cundinamarca) en la laguna de la Herrera.

\* Fuente, Ing. José Gabriel Gómez Córtes, Materiales para Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia

Por lo tanto las características fundamentales a considerar de los agregados y su incidencia en la activación del fenómeno de RAS, son:

- a. Tipo de mineral.
- b. Tamaño del grano.
- c. Porosidad.
- d. Permeabilidad.
- e. Composición química.

De acuerdo al modelo propuesto por (Glasser, 1981), al momento de producirse la reacción es más favorable su aparición; si la estructura mineral es desordenada, es decir si la sílice esta pobremente cristalizada denominada "sílice amorfa". Ya que esto permite la entrada al interior de la estructura de los iones hidroxilos, sodio y/o potasio, caso contrario cuando la sílice es cristalizada; puesto que no se permite la entrada de los iones. Reduciendo el ataque únicamente a la superficie. A continuación se presenta el modelo de la situación antes descrita.

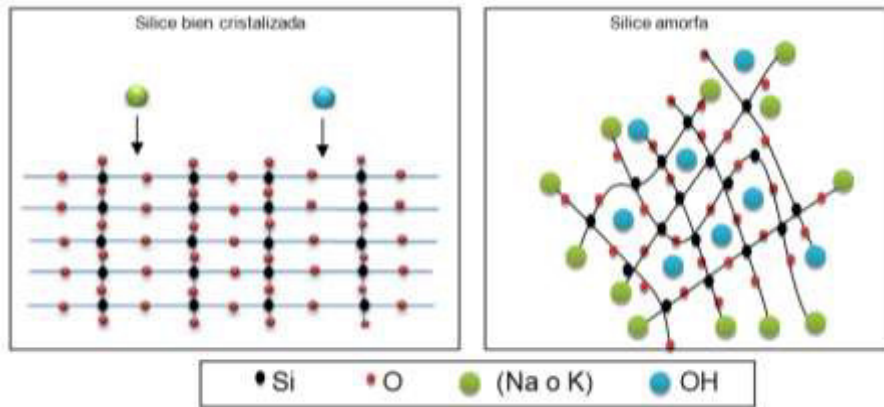


Figura No. 7 Comportamiento de los álcalis en sílice cristalina y amorfa. Fuente Propia

### 2.4.1.2 Efecto “pésimo”

Se manifiesta cuando la proporción de sílice reactiva total es pequeña y está libre, entonces se consume rápido por la reacción. En consecuencia la cantidad de gel no es suficiente para hacer mucho deterioro. Pero si la proporción es alta, hay mayor cantidad de iones alcalinos en el agua, disponible en los intersticios del hormigón reduciéndose durante el periodo de endurecimiento del concreto. Por ello el volumen de expansión del gel no evidencia expansión total.

El efecto pésimo sucede cuando se compara la expansión versus el porcentaje de agregado reactivo, en principio se observa que al aumentar la proporción de agregado reactivo la expansión aumenta, pero luego sucede que a pesar de que se aumente el porcentaje de agregado este ya no produce expansión y por el contrario empieza a disminuir. A esta situación se le denomina efecto pésimo, a continuación se presenta en la figura 8, tomada de ICOLD – Boletín 79, 1991.

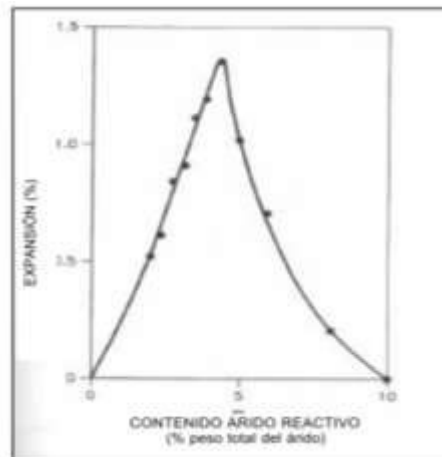


Figura No. 8 Efecto pésimo de agregados. Fuente: ICOLD- Boletín 79,1991.

Es importante controlar el efecto pésimo ya que de superarse el punto máximo, puede incidir negativamente ocasionando otras patologías de concreto lo anterior causado por el alto contenido de reactivo disponible que estaría estable si se ha consumido el agua.

Como lo muestra (Alaejos & Bermúdez, 2003), el punto máximo de expansión varía según el tipo y cantidad de agregado con el que se tenga que trabajar, por ejemplo para el ópalo el punto máximo esta con 3,5% del agregado reactivo (altamente reactivo) y para los menos reactivos esta del orden de 10-20%.

Como lo reporta (Alaejos & Bermúdez, 2003) para relaciones de agua/cemento iguales a 0,4 y agregado / cemento igual a 2,75 con contenido de álcali de 6 kg/ m<sup>3</sup>, se presenta el efecto pésimo. A continuación se presenta su desarrollo:

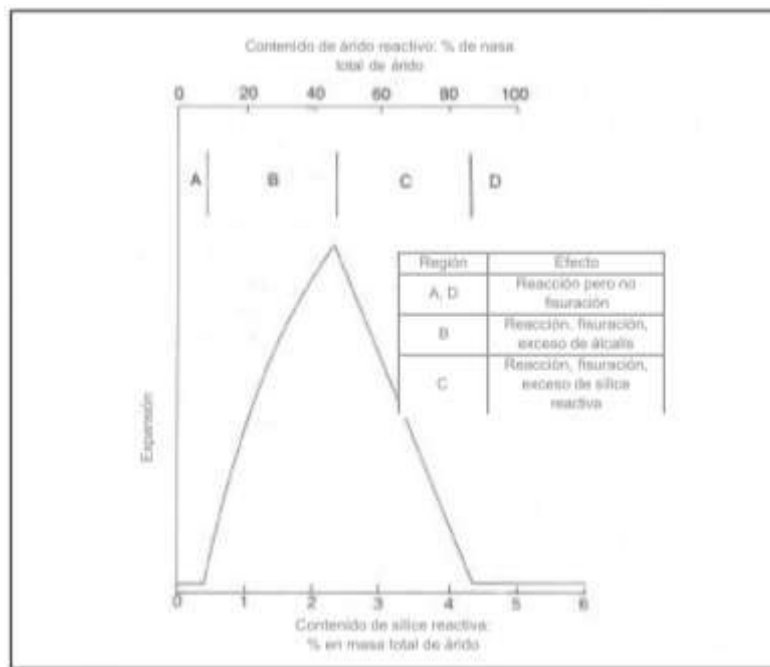


Figura No. 9 Desarrollo del efecto pésimo de agregados. Fuente (Alaejos & Bermúdez, 2003).

- Sector A: cuando el porcentaje de sílice reactiva es bajo, el aumento del gel posterior al endurecimiento del hormigón no es suficiente para generar fisuras, por lo tanto ocurre producción de gel sin presentarse daño al hormigón.
- Sector B: se caracteriza por tener alto contenido de álcalis, en este caso a pesar del estar el hormigón endurecido la reacción continúa y es suficiente para generar fisuras. Se detiene la expansión solo si se agota la sílice reactiva o se presenta una caída del nivel de intensidad de la reacción
- Región C: se caracteriza por tener alto contenido de sílice reactiva, para este caso el hormigón se ha endurecido pero la reacción continúa y se siguen

presentado fisuras, se detiene la expansión solo cuando los álcalis presentes en el agua intersticial se agotan.

- Región D: se caracteriza por que el contenido de la sílice reactiva es muy alta, en consecuencia la reacción se presenta rápidamente cuando el hormigón se ha endurecido, y por ende la velocidad de producción de gel es tan lenta que no genera fisuras o daños al hormigón independientemente que se produzca una gran cantidad de gel.

### 2.4.1.3 Granulometría del agregado

Independientemente del tipo de agregado (grava o arena), la reacción álcali sílice se puede producir siempre y cuando el agregado sea reactivo. Sin embargo existe una mayor predisposición a presentarse en el agregado que presente una mayor relación de superficie / volumen. Puesto que la reacción depende de la superficie específica ya que existirá una mayor cantidad disponible de sílice que puede reaccionar. A continuación se presenta el modelo de una superficie específica de una partícula cualquiera.

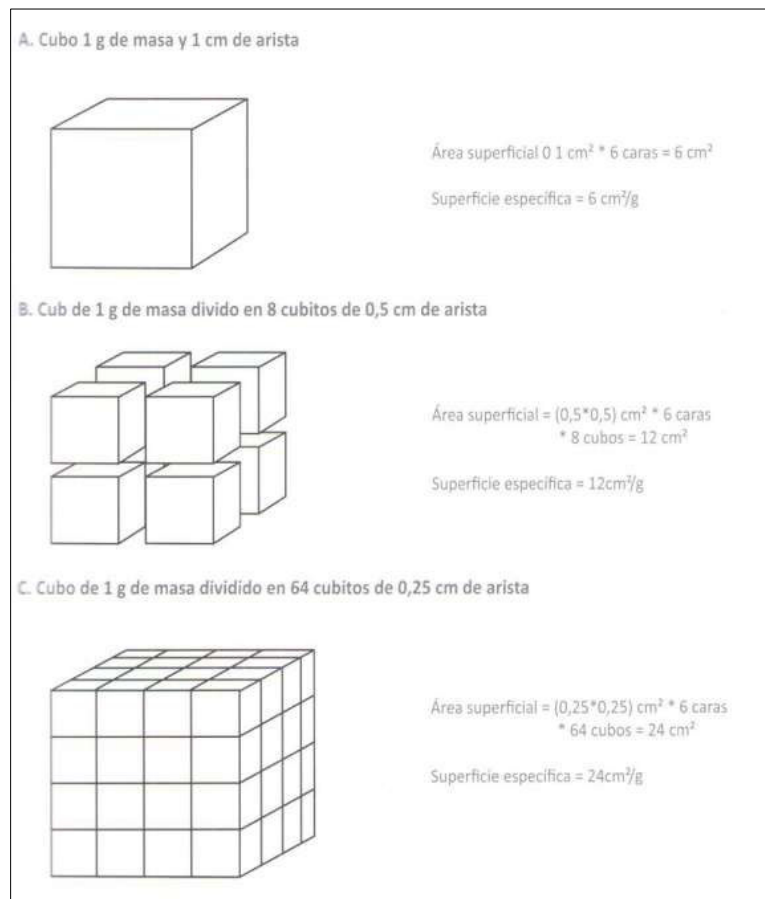


Figura No. 10 Distribución típica del tamaño de una partícula, fuente: (Asociación Colombiana de productores de concreto-ASOCRETO, 2010) (ver en bibliografía, cita detallada)



Experimentalmente se ha comprobado, como lo indica (Segarra Foradada, 2005), que la expansión del hormigón es inversamente proporcional al tamaño de las partículas; cuanto más aumenta la expansión menor es el tamaño de las partículas. Sin embargo el límite de tamaño de partículas es de 75  $\mu\text{m}$ , con tamaños inferiores al indicado, la producción de la reacción es muy dispersa, lo cual promueve mínimas expansiones reduciendo la concentración de tensiones que generen fisuras.

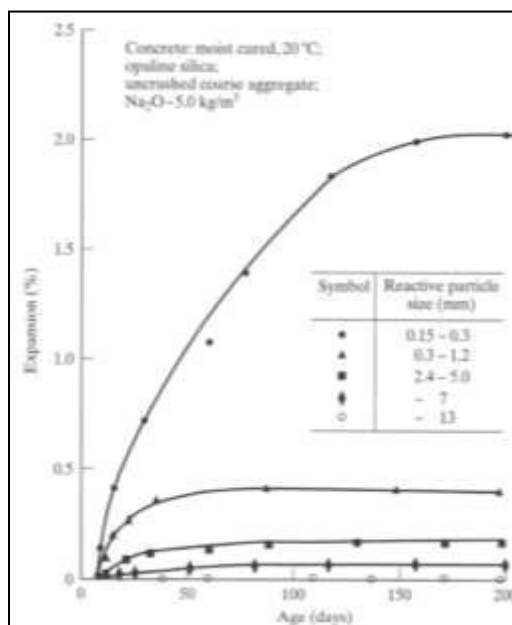


Figura No. 11 Efecto del tamaño de las partículas sobre la relación entre la expansión y tiempo: proporción w/c=0,41. Proporción agregado/cemento=3. Fuente (Hobbs, 1988).

Otro aspecto a considerar de la finura del agregado, tiene que ver, en que si, se tiene un agregado fino reactivo y se combina con un agregado grueso inocuo; se afecta la reactividad, ya que a mayor porosidad menor es el daño que se produce (Alaejos & Bermúdez, 2003). Es decir el espacio que queda disponible entre las partículas que da lugar a la porosidad es sustituido por el gel producto de la reacción, en consecuencia el efecto es menor en la estructura de concreto.

#### 2.4.2 Contenido de álcalis del cemento

En los poros del hormigón se encuentra una solución con alta concentración de álcalis constituidos con suficientes iones hidróxidos, que inician y mantienen la reacción. A mayor concentración de álcalis mayor será la expansión provocada por la reacción. La portlandita juega un papel importante ya que libera los aniones  $\text{OH}^-$  que logran equilibrar los cationes alcalinos. De ahí que si se tiene un buen número de iones alcalinos en la solución de poros, más elevado será el PH y la posibilidad de aparición de la RAS. (Alaejos & Bermúdez, 2003).

En el cemento los álcalis sodio y potasio tienen su origen en las materias primas usadas para la fabricación del cemento Portland, tales materias son arcillas, piedras calizas, tizas, esquistos y si el carbón se usa como combustible, también pueden venir de las cenizas de éste. En el clínter los compuestos alcalinos a destacar son: álcali aluminatos, álcali –silicatos, sulfatos alcalinos y aluminoferritas. Otras fuentes externas pueden ser algunos componentes de los aditivos, agregados contaminados con sal (Cloruro sódico) o agregados que liberen álcalis (micas, arcillas ílíticas y feldespatos) o agua alcalina.

El contenido de ácido soluble de un cemento Portland se calcula convencionalmente como el equivalente en óxido de sodio usando la fórmula presentada a continuación (Segarra Foradada, 2005):

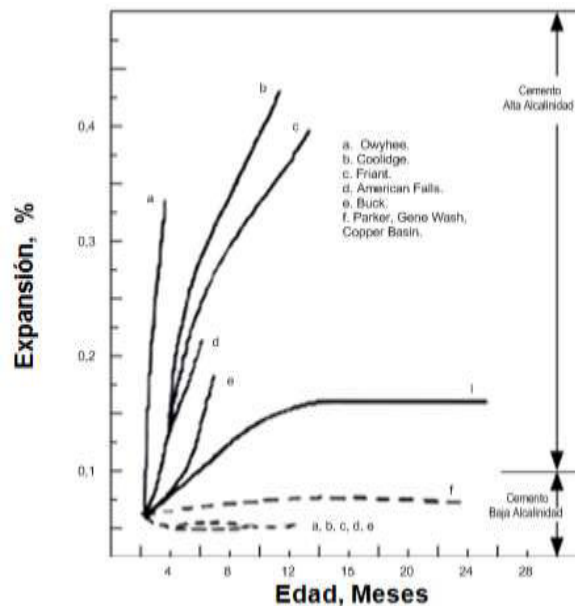
$$\%(\text{Na}_2\text{O})_{\text{eq}} = \%\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \%\text{K}_2\text{O}$$

(%Equivalente de óxido de sodio) = (%contenido en óxido de sodio) + 0,658 · (% contenido en óxido de potasio).

Generalmente el límite máximo de porcentaje alcalino es del 0,6%, pero en el caso de hormigones con alto contenido de cemento puede ser arriesgado así, el contenido de álcalis sea del 0.6%.

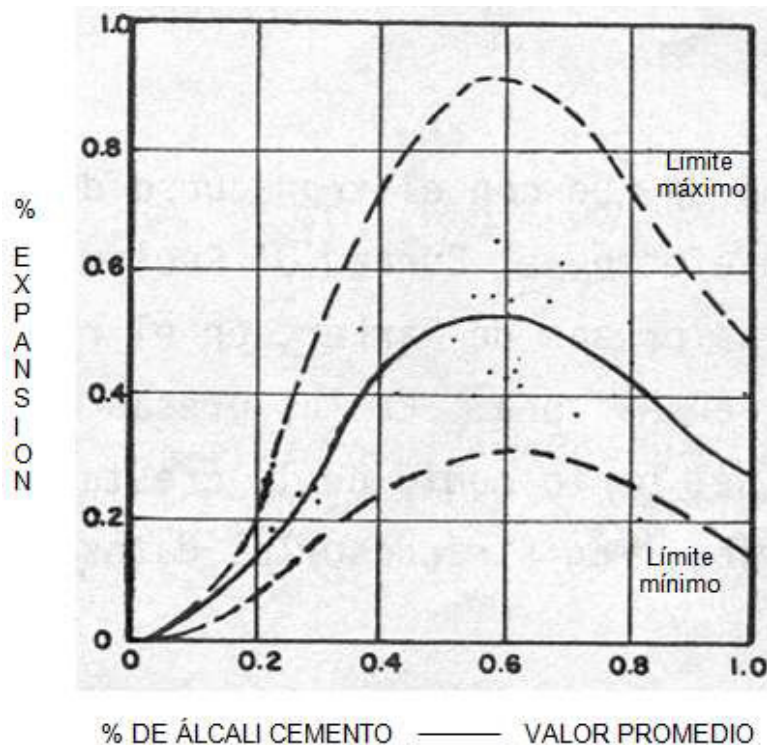
De la Gráfica No. 2 según (Mehta, 1986), se puede apreciar que para las rocas estudiadas las expansiones son mucho mayores para el caso de cementos con alto contenido en álcalis, es decir, superiores al 0.6 % con incidencias altas a la edad de 8 a 12 meses.

**Gráfica No. 2.** Influencia del contenido en álcalis en la expansión del hormigón. Fuente (Mehta, 1986)



Los cambios en el contenido de álcalis del cemento y el efecto en la expansión se presentan a continuación en la Gráfica No. 3, como se observa en un porcentaje de álcali cemento del 0.6% se alcanza expansiones superiores al 0.8%.

Gráfica No. 3. Curva de expansión según el contenido de álcali del cemento. Fuente:(Veronelli, 1978)



#### 2.4.2.1 Cenizas volantes y escorias de alto horno

Pueden presentar niveles de alcalinidad altos, por eso se recomienda tener en cuenta en el cálculo final para determinar la alcalinidad total de un hormigón.<sup>12</sup>

En caso de no realizar ensayos, para determinar el porcentaje de álcalis disponibles para iniciar la RAS; se estima que el contenido de una ceniza corresponde a una sexta parte del contenido total. En el caso de escorias granuladas el contenido corresponde a la mitad del contenido de los álcalis solubles en el ácido.(Hobbs, 1988).

De la norma ASTM C 618, se establece como límite permisible de contenido de álcalis para las cenizas volantes el 1.15% de álcalis libres medido en  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente. Cuando se tiene un contenido de álcalis inferior al límite permisible se ha observado, que se aumenta la dosificación de las cenizas, en el caso contrario se disminuye la dosificación para ser efectiva. Ha sucedido

que pequeñas adiciones de cenizas causan expansiones mayores a las obtenidas en una mezcla sin ceniza.<sup>13</sup>

Para el caso de mezclas de cementos portland con escorias de alto horno, el límite de contenido esta del orden de 1.1%.<sup>12</sup>

#### 2.4.2.2 Salas

Las sales pueden ser aportadas por agregados contaminados y se determinan midiendo la concentración del ion cloro, o puede ser aportada a través de agua de mar usada en la mezcla, estos iones pueden influir en la alcalinidad total del hormigón, de ahí que sea fundamental su inclusión a la hora de estimar el porcentaje de alcalinidad final. En el caso de hormigón endurecido puede absorber sales álcali proveniente del contacto con el agua de mar.

Finalmente, de lo anterior el contenido de álcalis en el hormigón debe estar limitado a 3,0 kg/m<sup>3</sup> contemplando todas las fuentes posibles, sin proveer un margen de seguridad suficiente en caso de presas. (Alaejos & Bermúdez, 2003).

Existen estudios adelantados sobre las variables que afectan la expansión cuando se tienen contenidos similares de álcalis, los cuales dependen de los siguientes factores:

- Liberación de los álcalis del cemento en diferente velocidad.
- Cambios en la relaciones de iones sodio/ iones potasio de los cementos.
- Desarrollo de la fuerza en diferente velocidad.

Se destaca que los estudios de alcalinidad del cemento deben ser efectuados para la zona donde se va analizar la incidencia del fenómeno de reactividad, ya que los factores antes descritos determinan el efecto producido en las estructuras de hormigón (Aparición de fisuras y aperturas máximas transcurridos 14 años de construidas las obras). (Hobbs, 1988).

Como se describió en apartes anteriores, los límites máximos permitidos de contenido de álcalis de cemento son del orden del 0,6%, sin embargo como lo propone el artículo Alkali-silica reaction minimizing the risk of damage to concrete (Concrete Society, 1987) el limite debería ser más bajo para hacer más conservador el efecto de la alcalinidad en el hormigón disminuyendo el agrietamiento por RAS, incluso proponen la siguiente fórmula:

$$\frac{c * a}{100} \leq 3 \frac{kg}{m^3}$$

c= contenido de cemento Portland del hormigón (Kg/m<sup>3</sup>)

a= contenido de álcali reactivo en el hormigón (%en masa de cemento)

Esto fundamentado en ensayos adelantados en el Reino Unido, donde se mantuvo un límite de alcalinidad en cementos de  $3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , garantizando que solo fueran disponibles los álcalis del cemento para el ensayo.

### 2.4.2.3 Combinación de agua y aditivos

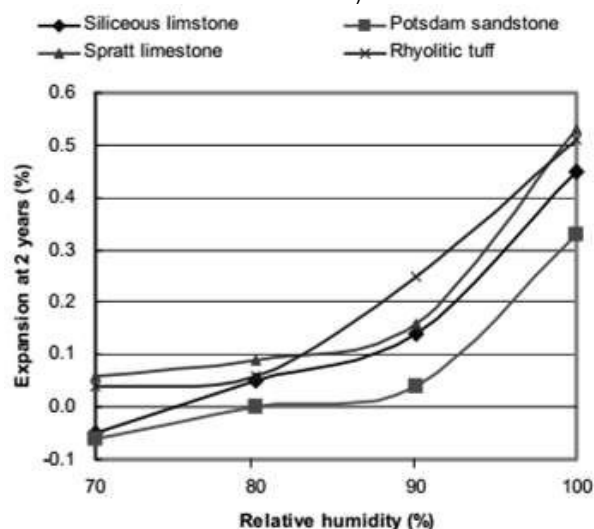
Los álcalis también pueden provenir de fuentes subterráneas, agua de escorrentía o agua de perforación en la que se pueden disolver álcalis de los alrededores de los suelos o rocas con químicos del concreto. También si se utilizan aguas para la producción de concretos, provenientes de ríos que pueden contener los efluentes industriales y agrícolas con altos contenidos de álcalis. (Ratnam & Mahure, 2008).

## 2.4.3 Agentes externos

### 2.4.3.1 Humedad ambiental

Considerando que el fenómeno de RAS, requiere de cierto grado de agua para activarse. Cuando se tiene una humedad ambiental inferior a 80% se considera que la única fuente humedad es el aire. De la Gráfica No. 4, se concluyó que a partir del 80% de humedad, se incrementaba la expansión para los diferentes tipos de agregados implementados los cuales fueron analizados mediante ASTM C 1293. (Shon, 2008).

**Gráfica No. 4.** Efecto de humedad relativa sobre la expansión usando la ASTM C 1293. Fuente(Pedneault, 1996).



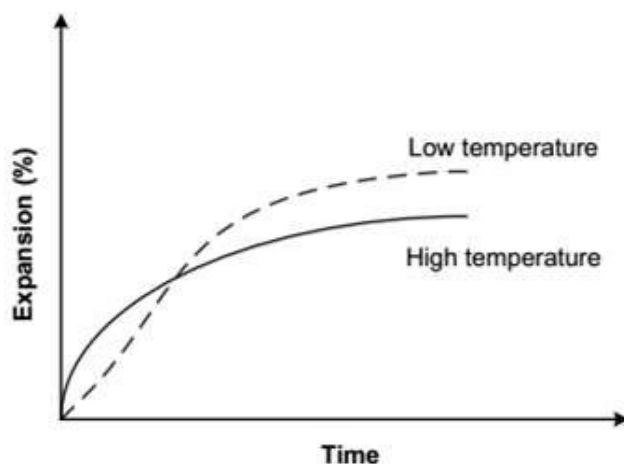
En el caso de presas se tiene que la humedad se presenta en los sitios que se encuentran en contacto permanente con agua, por un lado el agua embalsada con la cara de concreto aguas arriba y por otro con el agua al interior de la presa debido al grado de permeabilidad que se tenga. Caber recordar que el

paso de humedad a través del hormigón provoca la migración de los álcalis creando concentraciones temporales o permanentes de estos en el hormigón. Lo anterior da lugar a la denominada “reacción cemento- agregado” diferente a la RAS, ya que no depende del contenido de álcali del cemento sino que se produce por la evaporación del agua en la superficie del hormigón. En consecuencia se supone que la concentración de álcalis en los poros próximos a la superficie seca aumenta. (Alaejos & Bermúdez, 2003).

#### 2.4.3.2 Temperatura.

Sin lugar a duda, el cambio de temperatura afecta la reactividad álcali agregado, particularmente cuando se aumenta la temperatura la producción gel y la aparición de la reacción igualmente aumenta. Adicionalmente al estar el gel expuesto a temperaturas altas se hace menos viscoso, facilitando la entrada a otras fisuras y poros del hormigón lo cual influye en una disminución de la expansión final puesto que se distribuye sin ocasionar grandes fisuras.

**Gráfica No. 5.** Influencia de la temperaturas sobre la expansión causada por la RAS. Fuente (Shon, 2008).



De la Gráfica No. 5, se establece que en efecto a mayor temperatura es menor la expansión contrario a lo sucedido con temperaturas bajas.

Dentro de la literatura, del tema aun se discute en que a determinadas temperaturas no se presenta la reacción, pero en el caso de presas ubicadas en zonas con climas templados, el factor que influye en la aparición de la reacción es el agua embalsada. A una temperatura de 18,3 °C no hay reacción o se manifiesta lentamente como lo evidenciaron en el estudio de la presa Hiwassee en Carolina del Norte, (Tanner, 1992).

#### 2.4.3.3 Las tensiones de compresión

La expansión y el daño debido a RAA son influenciados por la presencia de restricciones y tensiones impuestas a la estructura de concreto. En muchos casos los esfuerzos de compresión, si están bien distribuidos reducen la expansión del concreto en la dirección de la compresión; evitando la apertura de grietas que permitan la circulación de agua.

Desde este punto de vista, hay una diferencia entre la deformación primaria de craqueo, directamente debido a la expansión irregular de hormigón local (mapa típico patrón de formación de grietas). Y secundaria o estructural, agrietamiento que se produce ya que no hay restricción estructural oponiéndose a la expansión. (Ratnam & Mahure, 2008).

En el caso de las presas, las expansiones en la sección inferior donde las tensiones son más altas, es probable que sea menos importante que los sectores más altos. Tales tensiones se denominan contrapresiones las cuales son producidas por la propia expansión, puede ser una de las causas que en algunos casos, reducen la velocidad de la expansión hasta detenerla. (Ratnam & Mahure, 2008)

#### **2.4.4 Adiciones minerales**

Dentro de los materiales catalogados como puzolanas se tiene que pueden ser sustancias de origen natural o industrial silíceas o sílico-aluminosas o el producto de su combinación. Estos materiales finamente molidos desarrollan resistencia similar a lo que ocurre con el cemento, ya que endurecen con la presencia del agua, debido a que los iones hidroxilo de calcio reaccionan con el agua formando compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio. (Alaejos & Bermúdez, 2003).

A continuación se relacionan las principales hipótesis de la razón por la cual las cenizas volantes o las escorias de alto horno reducen las expansiones provocadas por RAS:

1. Reducción de permeabilidad: cuando disminuye la movilidad de las soluciones alcalinas al interior del hormigón y también la movilidad iónica.
2. Reducción de la cantidad de portlandita: al combinarse la portlandita resultado de la hidratación del cemento con las puzolanas se reduce el contenido en la pasta de cemento además de disminuir el PH evitando la aparición de la RAS.
3. Álcalis diluidos: las puzolanas actúan como diluyentes, reduciendo los álcalis presentes en el cemento. Pero esta hipótesis no aplica en gran medida ya que para que esto el cemento debería contener un alto nivel de álcalis y generalmente no ocurre esa situación.

4. Álcalis no disponibles: en esta hipótesis se supone que las adiciones combinadas con los álcalis forman una estructura vítrea, por lo tanto evitan la RAS debido a que no hay disponibilidad de álcalis. Pero se tienen dudas sobre este argumento puesto que los materiales vítreos son más reactivos que los cristalinos.

Como se describió en el numeral 2.4.2 del presente documento la hipótesis No. 2, tiene sentido ya que el hidroxilo cálcico libre es fundamental para que se produzca la RAS.

Por lo anterior, se establece que el uso de las puzolanas, en las dosis correctas y con grados de finura adecuados, es el mecanismo más seguro para controlar los efectos de la RAS, ya que si se realiza un adecuado diseño de mezcla de los concretos, se puede mantener la resistencia optima del concreto, su rigidez y evitar las deformaciones estructurales del mismo; pero se advierte que no eliminan el problema solo lo mitigan. En la Tabla No. 7 se relacionan los tipos de adiciones y algunos parámetros a tener en cuenta para su posible uso en las obras.

**Tabla No. 7** Adiciones Minerales. Fuente (Alaejos & Bermúdez, 2003).

Tipo de adición	Norma que aplica para su aceptación	Contenidos mínimos de adiciones	Resultado esperado	Norma para comprobar la efectividad de la adición
Cenizas Volantes	ASTM C 618	25% en cemento portland (BS6588)	Reducción de expansión causada por el RAS	ASTM C 441
Puzolanas naturales		25%-30% en cementos puzolánicos		ASTM C 441
Humo de sílice		En Islandia el humo de sílice con el clínker de cemento en una proporción de 5% al 7,5%, es efectivo. En otros países el rango es variable a razón del contenido de álcalis en el cemento portland.	Efectividad en la prevención de RAS aun con dosificaciones bajas comparado con otros materiales puzolánicos.	ASTM C 441



Tipo de adición	Norma que aplica para su aceptación	Contenidos mínimos de adiciones	Resultado esperado	Norma para comprobar la efectividad de la adición
Escorias de alto horno	ASTM C 989	Entre 50%-65% en cementos siderúrgicos. O 25%-30% en cementos puzolánicos. 50% cemento portland (BS12)	Reduce la expansión de cementos de alto contenido de álcalis al incorporarse en un porcentaje de 65% en peso de cemento. La expansión disminuye al aumentar el contenido de escoria y usar una granulometría muy fina.	ASTM C 441
Metacaolín (MK)	ASTM C 618-92	Menor a 25 % en cemento portland. Fuente: Dyna rev.fac.nac.minas vol.73 no.150 Medellín Nov. 2006. Efectos de la adición de metacaolín en el cemento pórtland	Reducción de la r expansión causado por la reactividad, al disminuir el efecto de la Portlandita	ASTM D5370

## 2.5 SINTOMATOLOGÍA DEL RAS

El primer indicio o manifestación externa de las estructuras afectadas por este fenómeno es la aparición de fisuras y grietas acompañadas en la mayoría de ocasiones de una coloración más oscura en el borde de las fisuras y con expulsión de una solución de color ámbar claro o marrón y secas de color blanco o claro, sin embargo según el caso a continuación se especifica otras características:

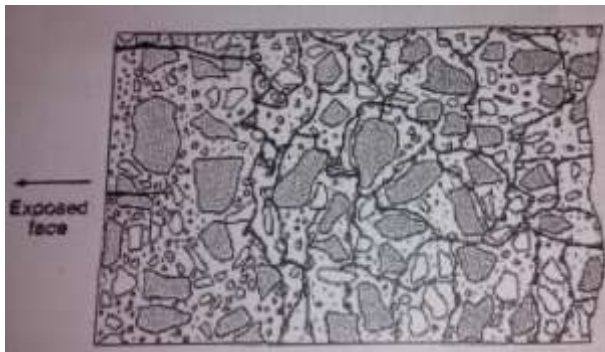
- a) Si el hormigón no tiene ninguna restricción, las fisuras tienen forma de mapa o con un diseño pseudo-hexagonal similar a la piel de cocodrilo; alrededor de los 5 años de colocada en obra. (Es importante recordar que esta característica puede presentarse en caso de retracción inicial del concreto o procesos de hielo y deshielo).(Alaejos & Bermúdez, 2003).



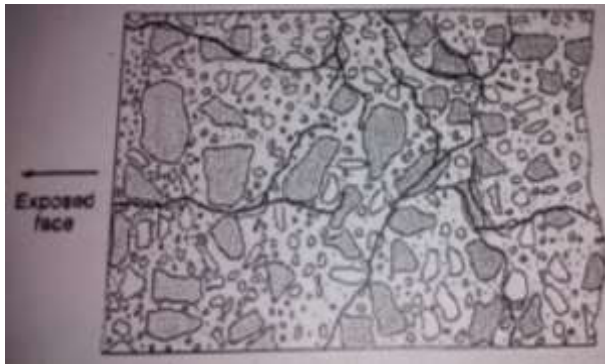
Foto No. 4. Grietas y fisuras en forma de mapa. Fuente

[http://www.construdata.com/bancoconocimiento/e/el\\_cancer\\_del\\_concreto/el\\_cancer\\_del\\_concreto.asp](http://www.construdata.com/bancoconocimiento/e/el_cancer_del_concreto/el_cancer_del_concreto.asp).

A continuación se presenta el modelo de fisuración interna resultado del efecto de RAS según el tipo de agregado, el cual puede ser determinado a través de un ultrasonido en la estructura de concreto:



Modelo de fisuras cuando se tienen arenas, en este caso se puede observar que la fisuración se compone de un sistema de micro-fisuras, interconectadas a través de la pasta.



Modelo de fisuras cuando se tienen agregado grueso, en este caso se puede observar que la fisuración se compone de un sistema de micro-fisuras que incluso atraviesan dicho agregado, junto con unas macro-fisuras que parten de la cara expuesta del hormigón y son perpendiculares a dicha cara.

Figura No. 12 Modelos de fisuras, fuente: (Alaejos & Bermúdez, 2003).

- b) Si el hormigón tiene restricción: cuando se tiene cargas o tiene armadura la estructura, en este caso las fisuras se alinean con la dirección de la restricción, en el caso de las presas, verticalmente no se

tiene restricción mientras que horizontalmente sí. En consecuencia generalmente se forman fisuras horizontales en los paramentos, en mayor número en proximidad a la zona de corona de la presa.



**Foto No. 5.** Agrietamientos causados por RAS, fuente <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/T/toxementalcali/toxementalcali.asp>

Vale la pena señalar que toda inspección inicial efectuada en el concreto, debe estar acompañada de ensayos de laboratorio, puesto que estos síntomas se pueden confundir fácilmente con otras patologías como las que se presentan en el Anexo 2.

Otra posible confusión que se puede presentar, tiene que ver con las características del gel producido o que se haya en las fisuras, ya que muchas veces son depósitos de carbonato cálcico. Cuando las gotas de gel están húmedas son de color transparente o marrón y con textura resinosa, pero al perder el agua se tornan blancas. Por tal motivo es indispensable determinar si es resultado de un proceso de RAS mediante acetato de uranilo (ensayo rápido) y luz ultravioleta.

En este sentido un examen microscópico, a un testigo de concreto, donde se haga un corte longitudinal (sección fina de 75 mm por 100 mm), que permita la identificación de las micro-fisuras en toda la masa de hormigón. (Las muestras no se deben tomar en el sitio de las fisuras).

- c) Cuando el deterioro es masivo, existe presencia de etringita ocupando el espacio de los poros y micro-fisuras, sustituyendo al gel producido por la RAS. Lo anterior asociado a la presencia de portlandita en la pasta de cemento. En muchos casos la etringita se forma por la recristalización de la etringita primaria (no expansiva) del hormigón, debido a que se redujo el PH que provee la RAS. (Alaejos & Bermúdez, 2003).

- d) “Expansión de la masa hormigón, en las presas se manifiesta con el cierre de juntas de dilatación, expulsión de los materiales de estanqueidad y sellado, por saltar el hormigón cercano a la junta, por desplazamientos relativos de bloques hormigón contiguos y bloqueo de órganos móviles como compuertas”. (Alaejos & Bermúdez, 2003). A continuación en la Tabla No. 8 se describen los indicios de RAS según el tipo de presa:

**Tabla No. 8** Indicios de RAS según tipo de presa, fuente (Alaejos & Bermúdez, 2003)

Tipo de presa	Síntomas de la presencia de RAS
Presa de gravedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se presenta deformación hacia arriba en vertical (hacia aguas arriba o aguas abajo) según las condiciones de la presa.</li> <li>✓ A mayor humedad del hormigón mayor expansión lo cual se evidencia en la cara situada aguas arriba de la presa, que resulta ser la más afectada. En tal situación las fisuras generadas permiten el ingreso de agua.</li> <li>✓ La expansión cierra las juntas verticales de contracción desarrollando unas presiones de confinamiento con efectos secundarios como:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la velocidad de expansión en la dirección del confinamiento.</li> <li>• Desarrollo de tensiones y fisuración de pozos de drenaje en la zona de compresión.</li> <li>• Compresión de la roca de cimentación, aunque normalmente está estable puede afectar el drenaje.</li> </ul> </li> </ul>
Presa de Arco	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El desplazamiento se da de forma radial hacia aguas arriba y una elevación de la coronación, a un ritmo de hasta 3 mm/año. La compresión de confinamiento es menor que en las presas de gravedad, pero los efectos secundarios que pueden desarrollarse son:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apertura de juntas verticales en la coronación aguas arriba y en el pie de presas aguas abajo.</li> <li>• Desarrollo de fisuras en la cara aguas abajo, cerca y en paralelo a la cimentación. No afectan a la estabilidad de la presa.</li> </ul> </li> </ul>
Presas de contrafuertes y arco múltiple	<p>La expansión de los contrafuertes será más rápida en las cabezas que en las colas, pues estas no están en contacto con el embalse. Esta diferente expansión origina una deformación hacia arriba y hacia aguas abajo, así como tensiones. Se ha observado fisuras y grietas horizontales en el muro o en los arcos y en los contrafuertes así como fisuración en mapa en los contrafuertes.</p>

- e) Si no se observan expansiones, muchas veces lo que ocurre es una alteración en la superficie del agregado que compromete la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento deteriorando el concreto, el daño es más grave cuando se trata de arenas debido a que tiene mayor superficie específica.

- f) Aumentos de temperatura en el cuerpo de la presa que va del orden de 3 °C a 4° C, teniendo en cuenta que la reacción se acelera con el aumento de temperatura al interior del hormigón y es directamente proporcional a la temperatura del exterior.
- g) Disminución del módulo de elasticidad y de la resistencia a tracción del hormigón, contrario a lo que refleja la resistencia a compresión que no tiene mucha afectación particularmente al inicio de la reacción.
- h) En los pavimentos que se construyen en algunos casos en la corona de la presa, se observa ondulación de las losas, rotura en forma de cuña por la presión de hinchamiento y “desconchamientos” de la superficie del hormigón (pop-outs).

## **2.6 TÉCNICAS PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO**

En la actualidad existen numerosos métodos de identificación de procesos de RAA, sin embargo lo recomendado por muchos autores es que dicho diagnóstico no sea el resultado de la aplicación de un solo ensayo, puesto que no sería determinante en la evaluación.

Por consiguiente lo que se destaca es el uso combinado de diferentes técnicas y ensayos para tener una mayor certeza de lo que sucede al interior del concreto, y garantizar que en efecto sea por causas atribuibles a la RAA. A continuación se relacionan los principales ensayos:

**Tabla No. 9** Ensayos para determinar RAA, fuente (Alaejos & Bermúdez, 2003) y (Farny & Kerkhoff)

Clase de ensayo	Aspectos destacados	Tipo de ensayo	Resultados esperados
<p>Ensayos preventivos para evaluar reactividad de los agregados</p>	<p>✓ Se deben hacer análisis separados para cada clase de agregado (fino y grueso), independientemente de que provengan de la misma fuente, para casos de diferentes fuentes se debe hacer el ensayo combinando en la proporción establecida en el diseño de mezcla.</p>	<p><b>Examen petrográfico de agregados Norma ASTM C 295</b>, se usa para determinar rocas reactivas y sus constituyentes reactivos cuantitativamente. El examen petrográfico debe contener:</p> <p>Datos fundamentales de composición y propiedades del material. Método de ensayo empleado. Naturaleza y característica de cada constituyente de la muestra. (cualitativamente y cuantitativamente).</p> <p>Limitaciones del ensayo:</p> <p>Precaución en la interpretación de resultados y de los ángulos de extinción ondulante, ya que no hay relación entre el ángulo y expansión del agregado con cuarzo. Errores de interpretación de algunos minerales que pasan inadvertidos como el caso del ópalo. Limitación en precisar el contenido de cuarzo microcristalino asociado a la RASS.</p>	<p>Un agregado fino o grueso es clasificado como potencialmente nocivo si se tiene los siguientes resultados en la petrografía:</p> <p>Presencia de cualquier cantidad de ópalo. Más del 5% de partículas de sílex en el que se destaca la presencia de calcedonia. Más del 3% de partículas de rocas ígneas vítreas en las que se detecta cualquier vidrio ácido o intermedio. Más del 1% de partículas en las que se detecta tridimita o cristobalita. Más del 20% de partículas que contengan cuarzo deformado en un agregado en el que el ángulo de extinción medio medido sea al menos de 15°. Más del 15% o 10% de partículas compuestas de grauwaca, argilita, filita o limonita que contenga cualquier cantidad de cuarzo o calcedonia muy finamente dividida.</p>
	<p>✓ Únicamente se pueden extrapolar los resultados de ensayos sobre materiales reactivos, si existe correlación entre los tipos de roca involucrados y la fuente.</p>	<p><b>Método Químico – ASTM C 289</b>, permite determinar por vía química la reactividad potencial de tipo RAS.</p> <p>Limitaciones:</p> <p>Este ensayo no predice la reactividad tardía/lenta sílice / silicato, debido a agregados que contiene cuarzo deformado o microgranulado, o a compuestos de metagrauwaca, limonita, metacuarzo y rocas similares. Consideran nocivos o potencialmente nocivos los agregados que contienen sílex y cuarcita, sin considerar la combinación de los agregados gruesos y finos. Considera inocuas algunas variedades de cuarzo que posteriormente son reactivas (granito de dos micas con vetas de diabasa en las que afloraban gneises y esquistos micáceos compuesto de granito alcalino y granito biotita, arenisca cuarcítica, granito, cuarcita, argilita, grauwaca.</p>	<p>Clasificación del agregado según la gráfica establecida, en que puede ser considerado, inocuo, potencialmente nocivo o nocivo.</p> <p>Donde se determinan los valores de sílice disuelta y la reducción de alcalinidad de la solución a las 24 horas.</p>

Clase de ensayo	Aspectos destacados	Tipo de ensayo	Resultados esperados												
		<p><b>Ensayo de barras de mortero ASTM C 227</b>, en este procedimiento se ensayan por separado los agregados (fino y grueso) que se usaran. Si se requiere usar los dos de una misma cantera se machaca al tamaño del agregado fino.</p> <p>La granulometría que debe cumplir es:</p> <table border="1" data-bbox="709 505 1270 680"> <thead> <tr> <th>Tamaño de partícula mm</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,36-4,75</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>1,18-2,36</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>0,600-1,18</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>0,300-0,600</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>0,150-0,300</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table> <p>Se debe utilizar el cemento que se va usar en obra. Se deben hacer por lo menos 4 probetas para cada combinación.</p> <p>Limitaciones:</p> <p>Este ensayo no ha dado buenos resultados para detectar reactividad de agregados polifásicos silíceos o RASi ya que surge más lentamente. Igualmente no detecta granito, cuarcita, argilita, grauwaca y cuarzo micro-cristalino asociado con cuarzo deformado. Considerar inocuo algunas variedades de cuarzo posteriormente reactivas (compuesto de granito alcalino y granito biotita).</p>	Tamaño de partícula mm	Porcentaje (%)	2,36-4,75	10	1,18-2,36	25	0,600-1,18	25	0,300-0,600	25	0,150-0,300	15	<p>Para ASTM C 33 Expansión máxima a 3 y 6 meses entre 0,050% y 0,100% por encima de este resultado se considera el agregado o la mezcla agregado- cemento altamente reactivo.</p> <p>Analizar los resultados comparándolos con el análisis petrográfico o análisis químicos.</p>
Tamaño de partícula mm	Porcentaje (%)														
2,36-4,75	10														
1,18-2,36	25														
0,600-1,18	25														
0,300-0,600	25														
0,150-0,300	15														

Clase de ensayo	Aspectos destacados	Tipo de ensayo	Resultados esperados												
		<p data-bbox="680 298 1299 407"><b>Ensayo acelerado ASTM 1260</b>, se basa en la medida del cambio de longitud experimentado por una serie de probetas de mortero elaboradas con el agregado que se quiere analizar y el cemento a implementar en la obra.</p> <table border="1" data-bbox="764 448 1215 672"> <thead> <tr> <th>Tamaño de partícula mm</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,5-5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>1,25-2,5</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>0,630-1,25</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>0,315-0,630</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>0,160-0,315</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="680 829 800 854">Limitación:</p> <p data-bbox="680 875 1299 984">Este método puede considerar reactivas erróneamente algunas variedades de cuarzo y considerar inocuos agregados que contienen cuarzo deformado y que si son reactivos.</p> <p data-bbox="680 1240 1299 1377"><b>Método de los prismas de hormigón ASTM C 1293.</b> Se determina la reactividad potencial de los agregados mediante la medición del cambio de longitud de prismas de hormigón mantenidos a 38°C y 100% de humedad relativa.</p>	Tamaño de partícula mm	Porcentaje (%)	2,5-5	10	1,25-2,5	25	0,630-1,25	25	0,315-0,630	25	0,160-0,315	15	<p data-bbox="1325 298 1839 380">Dependiendo de la expansión obtenida de las probetas a los 14 días de tratamiento alcalino , se hace la siguiente clasificación:</p> <p data-bbox="1325 401 1839 586">Si la expansión es inferior a 0,10%, el agregado puede considerarse no reactivo. Sin embargo se recomienda investigar de su comportamiento en la práctica. Lo anterior ya que algunos gneises graníticos y metabasaltos se comportan expansivos en la práctica pero en el ensayo arrojan resultados inferiores a 0,10%.</p> <p data-bbox="1325 591 1839 639">Si la expansión es superior a 0,20% el agregado se considera potencialmente reactivo.</p> <p data-bbox="1325 644 1839 915">Si la expansión está comprendida entre el rango de 0,10% y 0,20%, se requiere continuar con las mediciones hasta el día 28. Si se continúa con resultados en ese rango, es indispensable obtener información complementaria ejemplo un ensayo de petrografía o técnicas de microscopía electrónica. Si al transcurrir los 28 días aumenta a 0,20% se clasifica como potencialmente reactivo aunque ratificado con información complementaria.</p> <p data-bbox="1325 920 1839 1002">Existen diferencias de interpretación en diferentes países, ejemplo Noruega que precisa: Inocuos , si la expansión es <math>\leq 0,10\%</math></p> <p data-bbox="1325 1006 1839 1088">Potencialmente reactivo – Lentamente expansivo si la expansión es <math>&gt;0,10\%</math> pero <math>&lt;0,25\%</math>.</p> <p data-bbox="1325 1092 1839 1222">Potencialmente reactivo- rápidamente expansivo, si es <math>\geq 0,25\%</math>. En Noruega se hace este ensayo cuando en el examen petrográfico se observa un contenido superior al 20% de rocas reactivas o potencialmente reactivas.</p> <p data-bbox="1325 1227 1839 1386">Se considera que el agregado es potencialmente reactivo si se obtiene una expansión superior a 0,40% para dos años . Se recomienda hacer posterior al ensayo un examen de microscopía electrónica para identificar los productos de la reacción.</p>
Tamaño de partícula mm	Porcentaje (%)														
2,5-5	10														
1,25-2,5	25														
0,630-1,25	25														
0,315-0,630	25														
0,160-0,315	15														



Clase de ensayo	Aspectos destacados	Tipo de ensayo	Resultados esperados
		<p>Limitaciones:</p> <p>No determina apropiadamente la reacción álcali silicato, debido a movilización de álcalis por la humedad acumulada en el recipiente empleado para almacenar los prismas, haciendo que se inhiba la reacción.</p> <p>La temperatura de 38°C no es la más apropiada para determinar la máxima expansión posible de la estructura. Lo anterior debido a que en estudios en Gran Bretaña se ha descubierto que con temperaturas entre 13 °C y 20°C las expansiones eran mayores que a 38°C. (esto para agregados calizo con finos extraídos de mar que contenía sílex).</p> <p>Al añadir exceso de álcalis en el agua de amasado para acelerar la reacción, se disminuye la resistencia del hormigón lo que lo hace susceptible a fisuras.</p> <p>Se disminuye la concentración de iones hidroxilo pero aumenta la concentración de sulfatos y lleva a la formación retardada de etringita.</p>	<p>Se recomienda hacer este ensayo cuando los resultados de los ensayos ASTM C 227 Y ASTM C 1260, sean inadecuados.</p>
		<p><b>Método acelerado con prismas de hormigón de 7x7x28 cm.</b> Se ha encontrado correlación entre las expansiones con este método y las del ensayo de los prismas de hormigón ASTM C 1293. El método predice correctamente la no-reactividad de mezclas con agregados que solo son nocivos cuando están presentes en la cuantía del contenido pésimo.</p> <p>Limitaciones:</p> <p>La solución pierde bastante sodio y casi todo el potasio después del tratamiento al tratar de evitar la migración de los álcalis.</p> <p>No se puede usar este ensayo en hormigones fabricados con cementos con alto contenido de MgO.</p> <p>Requiere de más ensayos en caso de utilizarse puzolanas ya que la interpretación de los resultados es incorrecta con un ensayo.</p>	<p>El límite de expansión es del orden de 0,11%</p>
		<p>Ensayos de estabilidad de los agregados frente a disoluciones de hidróxidos sódico, potásico y cálcico. Requiere de difractogramas del polvo obtenido. El ataque</p>	<p>Con este ensayo se puede valorar la reactividad de agregados que se degradan en presencia de estos iones. El resultado es la determinación del</p>

Clase de ensayo	Aspectos destacados	Tipo de ensayo	Resultados esperados
		<p>dura 28 días y a temperatura ambiente próxima a los 20°C.</p> <p>Este análisis se hace con difracción de rayos x, complementado con microscopio electrónico de barrido SEM y con el análisis de dispersión de rayos x. complementado con el método de absorción atómica donde se analizan los residuos de sodio, potasio y calcio.</p> <p>Limitaciones:</p> <p>La simulación de los procesos de ataque alcalino y génesis de productos de neo- formación se amplifica notablemente después de la molienda y pulverización del agregado.</p> <p>Los resultados del ensayo y sus productos son analizados cualitativamente.</p>	intercambio iónico.
		<p><b>Ensayo de teñido</b>, consiste en hacer reaccionar la roca potencialmente reactiva con una solución especial alcalina, de modo que el gel se torna de color azul, la intensidad del color se mide y relaciona con la reactividad de la roca.</p> <p>El gel que se forme en la superficie del material machacado se disuelve mediante el tratamiento de las muestras con 5 ml de HCl al 25%</p>	Tonalidades azuladas de diferentes intensidades que son determinadas mediante un espectrofotómetro.
		<p><b>Método Osmótico</b>: se sumerge agregado pulverizado en hidróxido sódico y se separa por medio de una membrana de pasta de cemento de una solución de hidróxido sódico de la misma concentración.</p> <p>Este ensayo si determina la reactividad de agregados de reacción muy lenta- RASS.</p>	El flujo del fluido inducido osmóticamente hacia la solución con agregado se registra, y si excede de cierta cantidad, el agregado se considera reactivo.
Ensayos sobre muestras extraídas	Depende de las condiciones en que se encuentre en la presa. (Grado de deterioro,	<b>Examen visual</b> , consiste en observar el grado de humedad de las muestras.	Manifestación del gel cuando se aplica humedad a las muestras, posterior a un periodo de secado.  Caracterización del color de la gel y grado de

Clase de ensayo	Aspectos destacados	Tipo de ensayo	Resultados esperados
de la presa	heterogeneidad del hormigón) Norma ASTM C-823. Hay dos tipos de muestras, representativas de la heterogeneidad del hormigón y las de zonas diferenciadas (superficial y del interior). Se recomienda seguir las orientaciones E-105 Y E-122 de la ASTM		viscosidad
		<b>Examen petrográfico del hormigón ASTM C 856.</b>	Determinación de agregados silíceos reactivos, esquema característico de fisuración, determinación del gel producto de la RAA. Ensayo físico y químico realizado a las muestras, descripción de las muestras, interpretación de la naturaleza de los materiales y de las causas físicas y químicas que han llevado al estado actual del hormigón.
		<b>Contenido en álcalis del hormigón endurecido.</b> Limitaciones: se puede dar lugar a interpretaciones erradas si los álcalis han desaparecidos por lixiviación.	Se recomienda que las medidas se realicen sobre muestras de hormigón tomadas a una profundidad de al menos 0,5 m.
		<b>Ensayos de expansión o método de prisma de hormigón ASTM C 1293</b> , se puede realizar en muestras de hormigón extraídas de la presa para estudiar causas de la patología.	Reporta la existencia de alguna reacción con posibilidad de expansión potencial.
		<b>Microscopia electrónica de barrido SEM</b> , se utiliza para estudiar la morfología de los compuestos presentes, así como los geles o compuestos amorfos no detectables por difracción de rayos x.  Es conveniente combinar esta técnica con microscopia óptica de reflexión, lámina delgada, microscopia electrónica de backs-catering, difracción de rayos X y espectroscopia infrarroja.	Confirma fehacientemente la existencia de productos de reacción entre los álcalis y los agregados.  Se diferencias las morfologías típicas de los productos de la reacción:  Productos amorfos o geles. Productos semiorganizados. Productos cristalinos
<b>Estudio de espectroscopia infrarroja</b> , expone la existencia de geles no cristalinos, constituidos por silicatos y sílico. Aluminatos así como de sílice amorfa.  Se usan pastillas de polvo con bromuro potásico.	Determinar geles y compuestos amorfos encontrados en el interior de las grietas y fisuras.  Determinación del coeficiente de desorden micro-estructural – mediante espectro de infrarrojos		

Clase de ensayo	Aspectos destacados	Tipo de ensayo	Resultados esperados
		<p><b>Ensayo con acetato de uranilo:</b> se aplica una solución de uranilo al hormigón, se espera 10 minutos para que se absorba por el hormigón. Posteriormente se lava con agua destilada o desionizada eliminando el exceso de la solución de uralino.</p> <p>Limitación:</p> <p>La sola presencia de gel no implica deterioro del hormigón</p>	<p>Si existe gel álcali sílice, los iones de uranilo se intercambian por los iones de álcali. Para detectarlo se observa mediante luz ultravioleta, emite un color amarillo verdoso brillante alrededor de las partículas del agregado, en huecos y fisuras. La estringita presenta una fluorescencia similar</p>
		<p><b>Recubrimiento de la muestra de hormigón con carbono,</b> se recubren con carbono muestras talladas y pulidas</p>	<p>Se observan unas manchas planteadas y brillantes en la pasta de cemento y círculos (Claros u Oscuros y no brillantes) alrededor de algunas partículas de agregado. Cuando existen depósitos de gel álcali sílice.</p>
		<p><b>Ensayo “gel – pat” o de inmersión alcalina.</b> Se usa para determinar la presencia de partículas reactivas.</p> <p>Se recomienda evitar la evaporación de la solución alcalina durante el ensayo desarrollado a temperatura de 20°C pero se puede aumentar para acelerar el ensayo.</p>	<p>Las partículas de agregado reactivo se manifiestan por la formación de un gel en la superficie del hormigón, normalmente se manifiesta en un tiempo inferior a los 28 días.</p>
Ensayos no destructivos	Se hace mediante mediciones de <b>ultrasonido y modulo dinámico de elasticidad (ensayos de frecuencia de resonancia)</b>	<p>Los dos métodos cuantifican el deterioro del hormigón debido a la RAS, incluso antes de que se manifieste la expansión o fisuración.</p> <p>Limitaciones:</p> <p>Depende del rango de reactividad (tipo, cantidad de agregado reactivo y condiciones ambientales)</p>	<p>Valores típicos de la velocidad de propagación lineal de ultrasonidos en función del estado del hormigón son:</p> <p>Mayor que 4,5 km/s: el hormigón esta excelente.  3,6 a 4,5 km/s: el hormigón es bueno.  3,0 a 3,6 km/s: el hormigón es aceptable.  2,1 a 3,0 km/s: el hormigón es malo.  Menos de 2,1 km/s: el hormigón es muy malo.</p>

## 2.7 PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE RAA

### Prevención antes de instalado el concreto

Es importante evitar las siguientes situaciones para que el fenómeno de reactividad álcali agregado se presente en el concreto:

- ✓ Que algunos de los componentes minerales (sílice o dolomita) de los agregados puedan ser realmente reactivos con los álcalis del cemento.
- ✓ Que el cemento utilizado en la construcción del elemento, posea una concentración pessimun de álcalis en su fabricación. ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 0,6\%$ ).
- ✓ Que no se apliquen sistemas de detección y/o control de procesos de RAA según lo establecido en normas técnicas, manuales, especificaciones y demás documentos que se establezcan en los proyectos para la construcción de concretos.
- ✓ Desconocer los resultados de ensayos de laboratorio que pueden evitar la presencia de RAA en los concretos de forma preventiva y posterior a su aparición en la estructura, como los reportados en la Tabla No. 9.
- ✓ No aplicar alguna medida de mitigación como las que se reportan en la Gráfica No. 6, en la que muchas compañías productoras de adiciones minerales, facilitan incluso, programas para estimar y calcular las proporciones de algunas de alternativas para mitigar el efecto de RAS. Suministrando la estimación de costos, durante fases de licitación de los diferentes proyectos.

**Gráfica No. 6.** Mecanismo para controlar la reactividad Álcali Agregado. Fuente (Manissero, FMC Corporation, Lithium Division, & Lithium Technology Manager, 2006).

- Empleo de adición ceniza volante o escorias.
- Adición de humo de sílice (microsílice).
- Empleo de nitrato de litio.
- Uso de cemento con bajo contenido de álcalis.
- Cambio de fuente de agregados.



### Tratamiento de concreto ya fundido

En el caso de concreto ya deteriorado causado por la RAS, hasta el momento no existe ningún método probado que evite la continuación del daño o una solución definitiva (Concrete Society, 1999). Pero existe la posibilidad de detectarlo, evaluarlo y repararlo ya que el proceso va surgiendo de forma lenta.

En el caso de las presas no sufren problemas de estabilidad e integridad estructural por la RAS (Alaejos & Bermúdez, 2003). No obstante al detectarse el deterioro del concreto, se ha iniciado su reparación en el caso de presas; su eficacia es temporal y en ocasiones aumentan los efectos secundarios (aparición de tensiones). (ICOLD, Committee on Dam Ageing, 1994).

A continuación se describen las opciones para evitar y poder controlar la RAA:

- ✓ Si los elementos estructurales construidos según su ubicación están sometidos a ciclos de humedecimiento-secado continuo así como a cambios de temperatura ambiente que pueda favorecer la aparición del fenómeno de RAA. Se puede evitar usando aditivos que impidan el paso del agua a través de concreto fundido o que impermeabilicen la cara expuesta del concreto. Ejemplo barreras de protección superficial (revestimiento con resinas epoxicas y cemento, mortero modificado con polímeros, membranas impermeabilizantes o aditivos a base de litio, se recomienda verificación en laboratorio de su efectividad).
- ✓ Colocar un parche en la superficie del concreto en etapa inicial del fenómeno, ya sea con concreto lanzado o una capa fina de concreto en la cara expuesta. De esta forma se evita el efecto del clima retrasando el deterioro.
- ✓ Sellado de las juntas de contracción o las fisuras, mediante la reparación con morteros o resinas elásticas. Esta opción es importante evaluarla y analizarla, ya que puede provocar taponamiento de los espacios por los que fluye el gel generando, mayores presiones internas y creando nuevas fisuras.
- ✓ Sustitución del concreto dañado, utilizando concreto armado pero con un diseño de mezcla optimo que mitigue el efecto de la RAA.
- ✓ Instalación de cables pretensados controlando las fisuras mecánicas, sin embargo esta opción es de uso limitado ya que la expansión provoca fuerzas bastante altas difíciles de controlar.
- ✓ Cortes controlados en las zonas críticas que permitan la salida del gel. Esta alternativa muchas veces, ocasiona cambios de dimensión o deformaciones a la estructura de concreto. Y requieren de realización periódica igualmente se deben sellar posterior al tratamiento.
- ✓ Incorporación de agentes químicos neutralizantes (Alaejos & Bermúdez, 2003), mediante el uso de taladros inyectar  $\text{CO}_2$  en el concreto, logrando inhibir la reactividad por carbonatación. Esta opción es limitada por el número de taladros necesarios y además que no se puede usar en concretos armados.

### **3. CASO DE ESTUDIO A**

#### **3.1 Descripción del proyecto**

La información relacionada a continuación corresponde a documentos internos e informes suministrados con fines explícitamente académicos a la investigación por parte del (Consortio Desarrollo Guajira e INCODER, 2011) y (Unión Temporal Guajira , 2008-2010).

La presa del “caso A” tiene embalsada el agua en un área de 638 hectáreas con un volumen útil de 186,10 millones de metros cúbicos para su aprovechamiento con fines multipropósito, ya que busca garantizar a través del volumen de agua almacenada en el embalse, la fuente hídrica necesaria para el utilización en acueductos, en el riego de 18.530 hectáreas y generación de energía.

La presa construida (entre año 2006 y 2010) sirve de soporte para la contención del embalse, su tipo es enrocado con cara de concreto o “Concrete Faced Rockfill Dam” (CFRD). Está constituida por un terraplén zonificado de material granular, proveniente de fragmentos de roca obtenidos de la cantera Lajitas ubicada aguas abajo del estribo izquierdo y de excavaciones de diferentes estructuras anexas a la presa como el Rebosadero y Túneles de Desviación y de Toma. La presa cuenta con una losa de concreto, fundida sobre el talud aguas arriba del terraplén, apoyada sobre un bordillo en concreto pobre, el cual fue construido simultáneamente con el avance del relleno de la presa.

La cara de concreto, es uno de los elementos impermeables de la presa, se asienta sobre una estructura perimetral denominada Plinto, que sirve de soporte y conformación, rematada en su parte superior por el muro Parapeto. Las características de las diferentes zonas que conforman el relleno de la presa, hacen que las eventuales infiltraciones que atraviesen juntas o fisuras de la losa de concreto, cortina profunda de inyecciones o provengan del macizo rocoso, puedan ser manejadas y evacuadas apropiadamente sin configurar una superficie alta de saturación dentro del terraplén y sin causar tubificación o erosión interna de los materiales constitutivos de la presa.

##### **3.1.1 Fundación**

El terraplén de la presa se fundó directamente sobre roca, con un volumen bajo de excavación general, retirando la cobertura del suelo, bloques y fragmentos aislados de roca.

### 3.1.2 Geometría Externa

El diseño de la presa consistió en un pedraplén de 110 metros de altura con los siguientes datos base:

- Cota mínima 325.50 m.s.n.m. en el cauce del río,
- Cota máxima 440 m.s.n.m. terminando con la corona de la presa.
- La corona tiene un ancho de 8.00 metros, con el muro parapeto en una saliente de un metro.
- Longitud de corona de 378.00 metros.
- El talud general de aguas arriba es 1.4H:1.0V
- El talud aguas abajo fue de 1.32H:1.0V entre bermas.
- Las bermas en el talud aguas abajo corresponden a una vía de acceso a la corona de la presa, con un ancho promedio de 10.00 metros, pendiente longitudinal de 12.8 % y dos cambios de dirección intermedios horizontales.
- El volumen de los rellenos de la presa es de 2'944.422 metros cúbicos incluido el dren.

**Tabla No. 10** Información sobre obras anexas de la presa Caso A.

Atagüía	Preatagüía	Contraatagüía
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Altura (desde el fondo del río) 26.50 m.</li> <li>✓ Talud aguas arriba 1.8H : 1V.</li> <li>✓ Talud aguas abajo 1.6H : 1V.</li> <li>✓ Cota de la cresta 356.5 m.s.n.m.</li> <li>✓ Ancho de la cresta 8 m.</li> <li>✓ Longitud de la cresta 120 m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Altura 7 m.</li> <li>✓ Talud aguas arriba 1.5H : 1V.</li> <li>✓ Talud aguas abajo 1.5H : 1V.</li> <li>✓ Cota de la cresta 339 m.s.n.m.</li> <li>✓ Volumen 5.650 m<sup>3</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Altura 5 m.</li> <li>✓ Talud aguas arriba 1.5H : 1V.</li> <li>✓ Talud aguas abajo 1.5H : 1V.</li> <li>✓ Cota de la cresta 332 m.s.n.m.</li> <li>✓ Volumen 3.600 m<sup>3</sup></li> </ul>

### 3.1.3 Zonificación

Como se indicó en apartes anteriores el cuerpo de la presa se encuentra dividido en varias zonas, que se describen a continuación desde el talud aguas arriba hasta el talud aguas abajo:

**Tabla No. 11** Descripción de la zonificación de presa

Tipo Material (Zona)	Características	Presa P/pal	Atagüía	Relleno Protección	Total	Vol. Total
		Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	%
Dren	Zona en la base de la presa constituida por gravas gruesas a finas y un poco de arena gruesa, tamaño máximo de 20 cm. Este material tiene una permeabilidad de por lo menos 1 cm/seg y puede evacuar muy rápidamente todas las infiltraciones que provengan de grietas o fisuras de la losa de concreto o de daños en los sellos de sus juntas, o que provengan de la fundación rocosa.	59,952.00	1,445.00	-	61,397.00	1.96%
1		-	19,622.00	1,200.00	20,822.00	0.66%
1A		-	-	110.10	110.10	0.00%



Tipo Material (Zona)	Características	Presa P/pal	Atagüía	Relleno Protección	Total	Vol. Total
		Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	%
2A	Es la capa de menor permeabilidad bajo la losa de concreto, a continuación del Plinto. Es la barrera "semipermeable" en el sitio más crítico de apoyo de la losa de concreto, puesto que en su perímetro se tienen las mayores deformaciones y giros, pudiendo estas causar fisuras abertura de las juntas o la rotura de los sellos. El tamaño máximo de este material es de 25 mm.	4,146.00	-	-	4,146.00	0.13%
2B	Es una arena limpia con gravas, con trazos de finos no plásticos pasa tamiz 200 entre el 2 y el 8%, bien gradada, tamaño máximo de 3". Ubicado Es el material confinado por los bordillos en el espaldón aguas arriba.	148,346.30	18,212.00	-	166,558.30	5.32%
3A	Esta zona está constituida por un material granular ampliamente gradado, con tamaño máximo de 30 cm, un porcentaje de finos no mayor al 10%, y la plasticidad del material pasa tamiz No. 40 fue menor al 4%. Ubicado en la zona de transición entre la zona 2B, sobre la que se apoya directamente la cara de concreto de la presa y la zona 3B, que corresponde al cuerpo del espaldón aguas arriba de la presa.	167,273.30	19,013.00	-	186,286.30	5.95%
3B	Es un material granular de amplia gradación, con un tamaño máximo de 80 cm y está constituido por enrocado, y gravas con algo de arena. Por recomendación de los especialistas y por la pequeña cantidad de finos, se consideró que un índice de plasticidad era adecuado hasta un 10%. La zona 3B corresponde al cuerpo del Espaldón Aguas arriba de la presa.	873,322.83	-	-	873,322.83	27.88%
3C	Esta zona corresponde a la parte central y al espaldón aguas abajo de la presa, su tamaño máximo fue de 0.40 metros. El porcentaje de finos fue inferior al 10% y la plasticidad, de la fracción menor que el tamiz No. 40 menor al 4%.	1,601,378.36	48,195.00	-	1,649,573.36	52.66%
4	Esta zona cumple la función de evitar la erosión del talud aguas abajo por las aguas de escorrentía. Es un material correspondiente a sobre-tamaños.	90,004.30	8,013.00	-	98,017.30	3.13%
Afirmado	Los materiales para afirmado están compuestos de fragmentos granulares limpios, duros, durables y razonablemente uniformes en calidad y exentos de fragmentos de rocas meteorizables o de fácil desintegración, terrones de arcilla, materia orgánica y otros materiales objetables	6,599.20	528.00	-	7,127.20	0.23%
Relleno protección cara de concreto		-	-	64,879.30	64,879.30	2.07%
Totales		2,951,022.2	115,028.0	66,189.40	3,132,239.	100.00%

Tipo Material (Zona)	Características	Presas P/pal	Atagüía	Relleno Protección	Total	Vol. Total
		Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	%
		9	0		69	
% Respecto vol. Total de relleno		94.21%	3.67%	2.11%	100.00%	

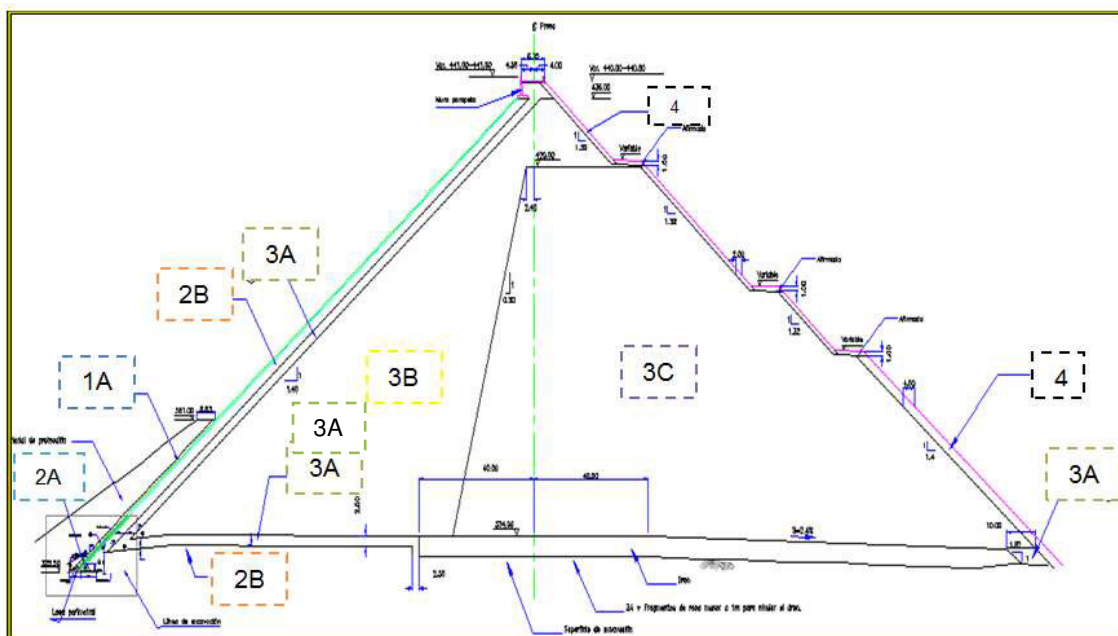


Figura No. 13 Zonificación de los rellenos de la Presa Principal. Fuente: (Consortio Desarrollo Guajira e INCODER, 2011).

### 3.1.4 Cara de concreto

Se denomina cara de presa al conjunto de losas de concreto de espesor variable, la cual está construida sobre el talud de relleno de la presa en un plano inclinado en su cara exterior con pendiente 1.4 horizontal a 1 vertical, desde el plinto en su parte inferior hasta la zapata del muro parapeto en la cresta de la presa. Es el elemento que junto con el plinto y la cortina profunda de inyecciones forman el sistema de impermeabilización de la presa.

Las losas agrupadas verticalmente tienen como dimensión 15 m de ancho y están separadas por juntas de tracción o compresión según su ubicación a lo largo del espaldón, conformando una junta perimetral con el Plinto y una junta horizontal en la plataforma ubicada en la cota 436.00 contra el muro parapeto.

El espesor de la losa es variable en función de la presión del agua, comenzando con 0,60 m en el extremo inferior, base de la losa contra el Plinto, en la cota 340.00 m.s.n.m. un espesor de 0,50 metros, en la cota 388.00 m.s.n.m. un espesor de 0,40 metros y rematando en 0,30 metros en la parte superior, elevación 436.00 m.s.n.m., contra el muro parapeto. Se diseñaron y colocaron sellos para todas las juntas "verticales" entre las losas; la junta perimetral entre la cara de concreto, el plinto y la junta horizontal en la base del muro parapeto.

Además se diseñó un elemento sobre la junta perimetral, en lámina galvanizada, en forma de media caña relleno de finos, con el objeto de que

estos migren y llenen los espacios creados por movimientos, si se presentan, entre la junta perimetral y la losa de concreto.



Figura No. 14 Cara de Concreto. Fuente (Consortio Desarrollo Guajira e INCODER, 2011)

### 3.1.5 Plinto

El plinto es un elemento en concreto reforzado, localizado en toda la longitud del perímetro de la cara de concreto de la presa que sirve de remate a la misma contra el terreno. Bajo el plinto se ejecutaron las perforaciones para la cortina profunda de inyecciones que forman la barrera impermeable de la presa.

El plinto es un macizo de concreto que en la parte central recibe la cara de concreto; tiene una losa en la parte interna bajo el relleno de la presa, y otra externa asegurada a la roca de cimentación mediante barras de anclaje. En su construcción se utilizó concreto clase I de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

La profundidad de excavación para fundar el plinto sobre roca, fue de 5 metros en promedio. Se configuró el plinto con losa externa y losa interna, dejando fijo un ancho de 4.0 metros para la losa externa y anchos constantes por tramos de 5.5, 4.5, 4.0, 2.5, 2.0 y 0.0 metros para la losa interna, en función de la cabeza de hidráulica. La estructura tiene una longitud aproximada de 563 m, con una altura variable entre 1.16 y 1.37 m.

La geometría de la estructura del plinto varía en función de la cabeza hidráulica y de la clasificación geomecánica de la roca, en razón a ello se determinó su construcción de acuerdo a la cota de cimentación de cada tramo. Ver Tabla No. 12.

**Tabla No. 12** Geometría de Plinto

TRAMO	RMR PROMEDIO	CABEZA HIDRÁULICA (m)	GRADIENTE	ANCHO TOTAL PLINTO (m)	ANCHO LOSA INTERNA (m)	ANCHO CONSTRUIDO LOSA INTERNA (m)
1	47	29,0	11	2,6	-1,4	0,0
2	63	46,0	14	3,3	-0,7	0,0
3	61	55,0	13	4,2	0,2	2,0
4	66	79,2	15	5,5	1,5	2,0
5	65	100,7	14	7,1	3,1	4,0
6	61	114,5	13	8,6	4,6	4,5
7	53	114,5	12	9,6	5,6	5,5
8	53	114,5	12	9,6	5,6	5,5
9	58	100,0	13	7,8	3,8	4,0
10	59	80,0	13	6,2	2,2	2,5
11	54	60,0	12	5,2	1,2	2,0
12	71	52,0	16	3,4	-0,6	0,0
13	65	31,0	14	2,2	-1,8	0,0

### 3.2 Tipos de agregado utilizados en la obra

Para el caso A, los agregados fueron extraídos del sitio de la obra y almacenados en sitios de cantera previamente aprobados. La fuente de los agregados se denomina la Cantera Lajitas correspondiente a la Formación Ignimbrita de los Clavos, esta unidad se encuentra constituida por rocas piroclásticas correspondientes a Ignimbritas y lavas volcánicas constituidas así (Union Temporal Guajira- Gomez Cajiao y Asociados S.A., 2004) :

- a) Miembro Ignimbrítico (Jpi): Compuesto por rocas de tonalidad gris verdosa, con estructuras de brecha volcánicas, donde se observan abundantes estructuras fluidales. La matriz en general se clasifica como **dacítica**–riodacítica.
- b) Miembro Lávico (Jic): Compuesto por lavas que varían de composición entre **andesitas – dacitas**. Estas rocas presentan textura porfirítica, con presencia de fenocristales de plagioclasas, anfíboles y feldespatos potásicos, aunque en algunos sectores, la textura se vuelve microcristalina.

Con una extensión aproximada de 15 ha se consolidó la Cantera Lajitas como fuente primordial de los materiales para la obtención del agregado empleado en la producción de concretos. Posteriormente se conformaron los patios de triturado donde se instalaron la trituradora Tele-Smith para la producción del agregado grueso y la trituradora Merlín para la producción del agregado fino.

Se produjeron en estas plantas agregados con TM de 3", TM 1 ½", TM ¾", TM 5/8" y arena Merlín No. 4 empleados en las diferentes mezclas de concretos diseñadas. A estos agregados se le efectuaron ensayos especificados en la NTC 174 "Especificaciones de los agregados para concreto" o ASTM C 33 "Standard Specification for Concrete Aggregates", los cuales se enuncian a continuación:

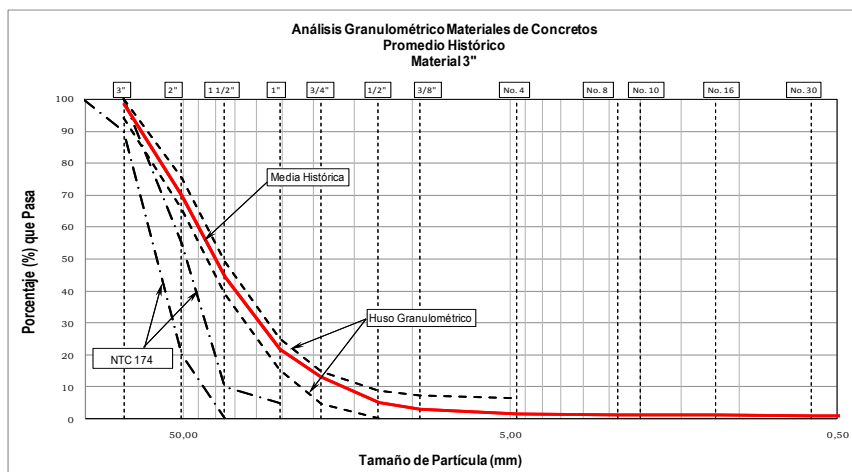
- ✓ Ensayo de Granulometría
- ✓ Peso Específico
- ✓ Absorción
- ✓ Abrasión o desgaste en la Máquina de los Ángeles
- ✓ Solidez o Sanidad determinada con sulfatos
- ✓ Límites de consistencia, determinación de plasticidad
- ✓ Impurezas orgánicas
- ✓ Reacción potencial Álcali-Agregado

A continuación se presentan los husos granulométricos determinados y las gráficas de la gradación promedio histórico total para cada uno de los materiales producidos.

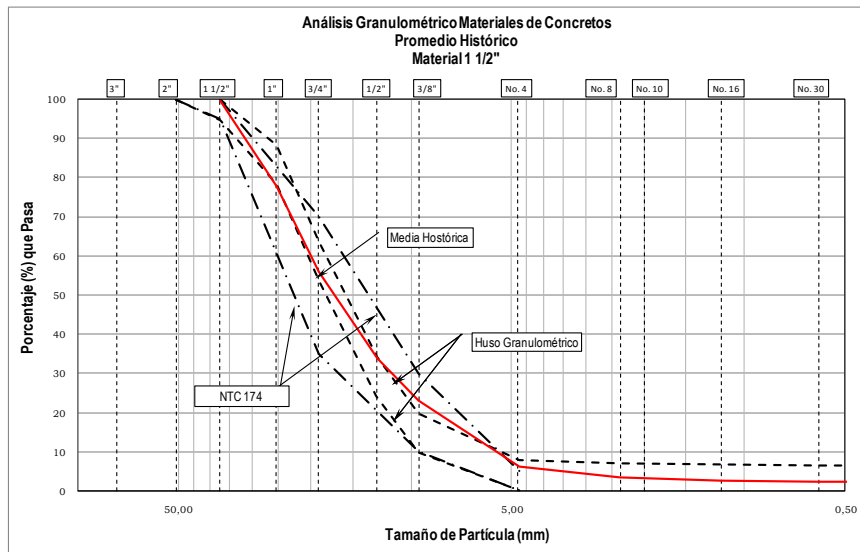
**Tabla No. 13** Husos Granulométricos.(Consortio Desarrollo Guajira e INCODER, 2011).

Tamiz US	Tamiz mm	HUSOS GRANULOMÉTRICOS							
		Porcentaje que pasa del material (%)							
		Arena No. 4		TM ¾"		TM 1 ½"		TM 3"	
		Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior
3 ½"	88,9							100	
3"	76,2							94,1	100
2"	50,8					100		65,4	75,4
1 ½"	37,5					94,6	100	39,1	49,1
1"	25,4			100		78,3	88,3	15,2	25,2
¾"	19,0			93,9	100	53,7	63,7	4,6	14,6
½"	12,7			60,7	70,7	24,1	34,1	0,0	8,7
⅜"	9,5	100		38,1	48,1	9,6	19,6		7,3
No. 4	4,8	92,8	100	8,9	18,9	0,0	7,7		6,4
No. 8	2,36	60,8	70,8	1,2	11,2		6,8		
No. 16	1,18	38,5	48,5	1,0	11		6,6		
No. 30	0,60	25,2	35,2				6,5		
No. 50	0,30	17,5	27,5	0,0	9,5		6,5		
No. 100	0,15	11,5	21,5				6,4		
No. 200	0,07	7,2	15		8,1		6,1		5,3

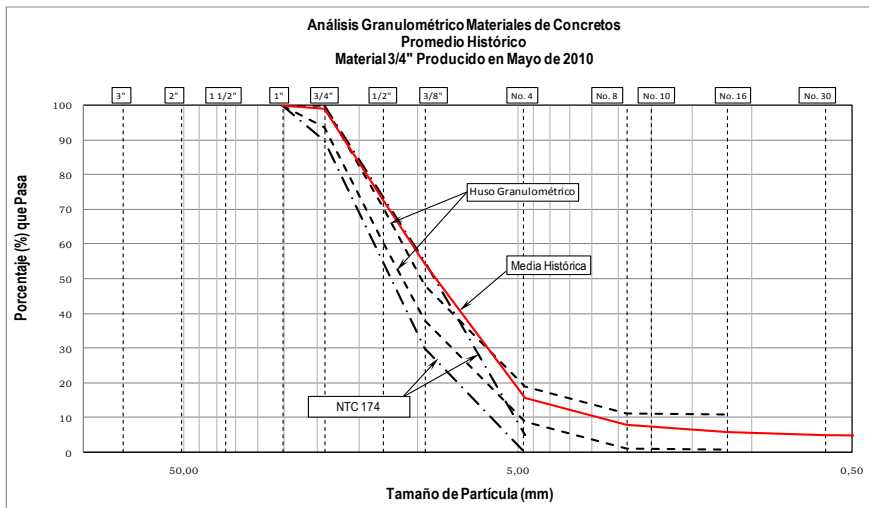
**Gráfica No. 7.** Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico- material 3"



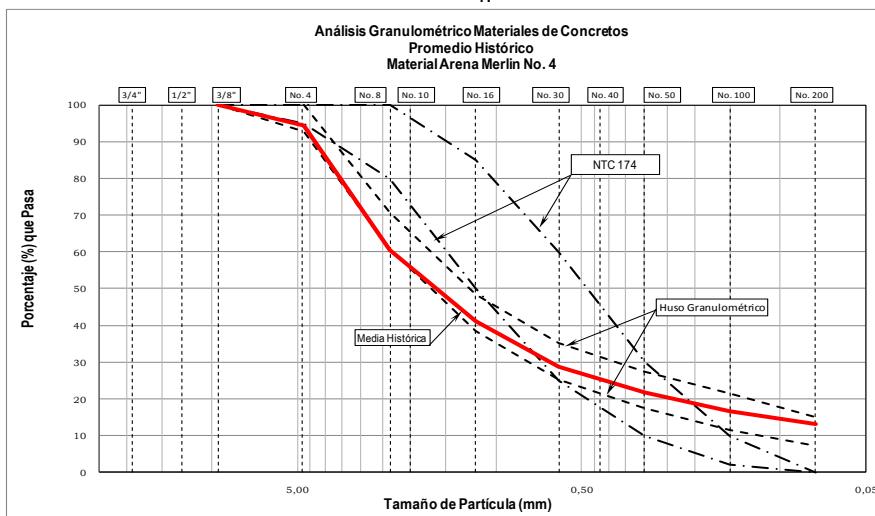
**Gráfica No. 8.** Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico- material 1 1/2".



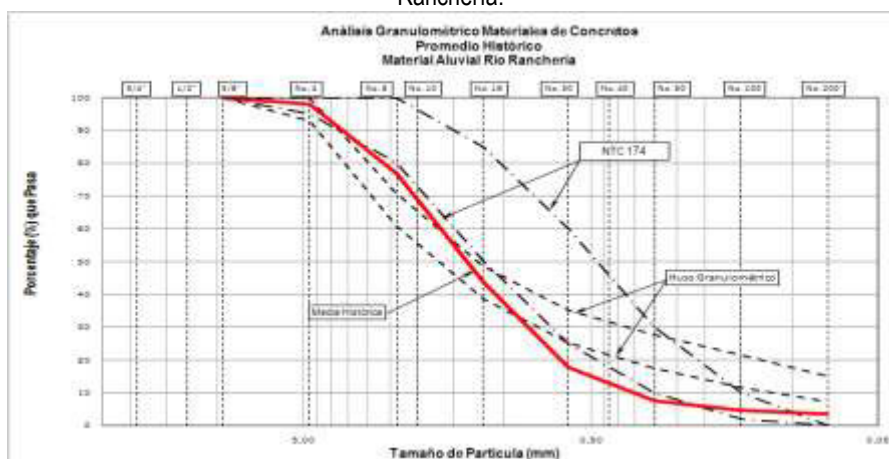
**Gráfica No. 9.** Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico- material 3/4".



**Gráfica No. 10.** Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico- material Arena Merlin No. 4.



**Gráfica No. 11.** Análisis granulométrico materiales de concretos – Promedio Histórico- material aluvial río Ranchería.



En general los agregados producidos presentaron características apropiadas, a excepción de la gradación ya que presentó un elevado porcentaje de finos (ver Tabla No. 14). Por tal motivo fue necesario hacer un programa de optimización de los diseños de mezcla, donde se ajustara la condición granulométrica a las condiciones del agregado hallado en la zona. No se encontraron residuos de materia orgánica ni de plasticidad, el desgaste físico de los materiales no superó los límites estipulados al igual que el desgaste por sulfatos. Por tratarse de material triturado los índices de forma correspondieron a lo estipulado por la norma.

**Tabla No. 14** Gradación Histórica de los agregados pétreos del Caso A.

Tamiz US	Tamiz mm	GRADACIÓN PROMEDIO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS EN EL CASO A				
		Porcentaje que pasa del material (%)				
		Agregado Fino		TM ¾"	TM 1 ½"	TM 3"
Merlín No. 4	Aluvial Ranchería					
3 ½"	88,9					
3"	76,2					98,44
2"	50,8					69,67
1 ½"	37,5				99,64	44,27
1"	25,4				77,74	21,81
¾"	19,0			99,07	56,02	12,96
½"	12,7			73,10	33,71	5,09
3/8"	9,5	99,99	100,00	54,43	22,99	2,98
No. 4	4,8	94,51	97,87	15,75	6,02	1,59
No. 8	2,36	60,51	76,87	8,07	3,22	1,30
No. 16	1,18	41,23	43,63	6,16	2,62	1,14
No. 30	0,60	28,80	17,67	5,27	2,31	1,01
No. 50	0,30	21,80	7,51	4,73	2,12	0,89
No. 100	0,15	16,54	4,43	4,21	1,90	0,75
No. 200	0,07	13,15	3,37	3,68	1,65	0,59

El Programa de Optimización consistió en la evaluación de la competencia y manejabilidad de las mezclas considerando diferentes gradaciones del agregado fino y diferentes niveles de los aditivos plastificantes. La variación de

la gradación consistió en la determinación del contenido de micro-finos o polvo de roca, pasa Tamiz No. 200 y para cada uno de estos la exigencia de plastificante que cumpliera con el rango de manejabilidad.

En el 2008 se realizaron los primeros ensayos sobre el potencial de reactividad Álcali de los agregados (frente de presa) que arrojaron una calificación de potencialmente reactivo, incidiendo sobre el desempeño de los concretos, por esta razón fue necesario hacer modificación de los diseños de mezclas incluyendo puzolanas para inhibir la reacción álcali-agregado.

### 3.3 Tipo de cemento implementado en la obra

A continuación se reportan las características físicas y mecánicas del cemento empleado en la obra.

- ✓ Fabricante: Cementos Argos , Tipo III y Tipo Estructural,
- ✓ Tipo III: empleado en las mezclas estándar de cemento hidráulico debido a su característica de alta resistencia inicial.
- Seguimiento y control de cemento despachado de acuerdo a la NTC 121 “Cemento Portland. Especificaciones Físicas y Mecánicas”. Los ensayos estipulados en esta norma son:
  - Finura o Superficie Específica.
  - Tiempos de Fraguado inicial y Final.
  - Consistencia Normal.
  - Peso Específico.
  - Resistencia a la Compresión.

Los ensayos de los agregados pétreos y del cemento, fueron realizados en el laboratorio de Concretos, Suelos y Materiales de la obra.

Teniendo en cuenta la incidencia que tienen los álcalis en el fenómeno de RAS, a continuación se reportan las características químicas del cemento usado en obra. Los ensayos y los resultados fueron suministrados por el fabricante teniendo en cuenta los protocolos de calidad exigidos en la normatividad Colombiana. (Ver Tabla No. 15).

**Tabla No. 15** Resultados de parámetros químicos años (2009-2010).

Parámetros		Resultado	Valor exigido por la norma
ÓXIDOS	Óxido de Sílice SiO <sub>2</sub>	20,77	
	Óxido de Aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,035	
	Óxido de Hierro Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,936	
	Óxido de Calcio CaO	62,91	
	Óxido de Magnesio MgO (debe ser menor de 7%)	0,984	< 6%
	Óxido de Azufre SO <sub>3</sub> (debe ser menor de 4,5% si C <sub>3</sub> A > 8%)	2,724	< 3,5%
	Óxido de Sodio Na <sub>2</sub> O	0,172	
	Óxido de Potasio K <sub>2</sub> O	0,325	
	Óxido de Titanio TiO <sub>2</sub>	0,206	
	Óxido de Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,077	
Pérdidas al Fuego (%)		2,483	< 4%
Cal Libre		1,044	
Residuo Insoluble (RI)		0,458	
Álcalis (Na <sub>2</sub> O+0,658K <sub>2</sub> O)		0,39	< 0,6%



Parámetros	Resultado	Valor exigido por la norma
$(Al_2O_3+tiO_2+P_2O_5)/Fe_2O_3$	1,35	> 0,64%
C <sub>3</sub> S	51,07	
C <sub>2</sub> S	21,01	
C <sub>3</sub> A	6,68	< 15
C <sub>4</sub> aF	11,98	
C <sub>3</sub> S+C <sub>2</sub> S	72,08	
Calor de Hidratación estimado en el año (cal/g)	97,32	

Como se observa en la Tabla No. 15, la mayoría de los parámetros cumplen con el requerimiento y las características que definen los cementos Portland Tipo III. En cuanto a la resistencia a la compresión se realizó seguimiento con muestras falladas a las 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días. La NTC 121<sup>4</sup> tan sólo define las resistencias para 1er y 3er día de evolución igualmente la NTC 220<sup>5</sup>. Los parámetros para estas edades y los resultados obtenidos en los diferentes periodos de producción de concretos se presentan en la Tabla No. 16.

**Tabla No. 16** Resistencias a la compresión del cemento empleado en el Proyecto.

AÑO		2008	2009	2010	Valor exigido por la NTC 121	
Resistencia a la Compresión (MPa)	1 Día	Promedio	16,36	16,97	17,28	> 10
		Máxima	37,1	29,26	27,62	
		Mínima	10,2	10,02	10,45	
	3 Días	Promedio	29,13	31,83	34,25	> 21
		Máxima	41,2	51,68	49,33	
		Mínima	16,4	21,20	21,27	
	7 Días	Promedio	-	38,87	41,59	-
		Máxima	-	58,20	60,00	
		Mínima	-	21,99	25,64	
	28 Días	Promedio	-	46,12	47,51	-
		Máxima	-	73,26	66,17	
		Mínima	-	30,73	30,06	

En los datos presentados en la Tabla No. 16 se puede observar que los promedios del año 2008 y 2009 son levemente menores a los obtenidos en el 2010, donde no se presentó ninguna anomalía en el comportamiento de la resistencia a la compresión. Se observa que a pesar de que las resistencias eran bajas cumplían con lo establecido en la norma, para el caso de las probetas rechazadas, no se tuvieron en cuenta en la fijación de promedios reportados (se causaron por elaboración deficiente de las probetas usadas en los ensayos).

<sup>4</sup> NTC 121 "Norma Técnica Colombiana correspondiente a *Cemento Portland. Especificaciones Físicas y Mecánicas*"

<sup>5</sup> NTC 220 "Norma Técnica Colombiana correspondiente al *Método para determinar la resistencia a la compresión de Morteros de Cemento hidráulico usando cubos de 50 mm, de lado*",

### 3.3.1 Características del Concreto utilizado

Para el caso A, el diseño de mezcla consistió en la fabricación de cuatro (4) tipos de concretos correspondientes a: concreto masivo, concreto estructural, concreto neumático y concreto auto-nivelante. (Ver Tabla No. 17).

**Tabla No. 17** Características de los concretos implementados en el caso A.

Tipo de Concreto	Especificaciones
Concreto Masivo	Es un concreto hidráulico de resistencia nominal de 4000 psi (28 Mpa), se utilizaron principalmente en: estructura de control del rebosadero, el trampolín y el deflector. La temperatura máxima de colocación permitida fue de 15°C por ese motivo se refrigeró considerando la temperatura ambiente. La temperatura máxima de fraguado se definió con base en los máximos de temperatura ambiente registrados históricamente correspondiente a 51°C. (Uso de termocuplas instaladas entre el acero de refuerzo distribuidas en toda la estructura).
Concreto Estructural	Es un concreto hidráulico de resistencia nominal de 3000 psi y de 4000 psi (21 y 28 Mpa), se utilizó en las conducciones (para la fabricación de las diferentes cajas de inspección o de protección de equipos, en anclajes y demás estructuras misceláneas). También en la construcción de los portales de los túneles y soleras, en Presa Derivadora, pontones y obras de arte de la vías, en el Plinto, Cara de Concreto y obras misceláneas de la Presa Principal. Temperatura máxima de colocación 27°C y de fraguado 51 °C.
Concreto Neumático	Para este concreto se tenían en cuenta características de manejabilidad, rebote y resistencia. Presentan alto contenido de cemento. Se utilizó en obras como: soporte de las excavaciones subterráneas en los Túneles de Desvío, Toma y Pozo de Toma, Conducciones 1 y 2, Sustituyó los muros en concreto hidráulico de los canales en los túneles 1 y 2, en protección de taludes de excavación a cielo abierto, estabilización de taludes del plinto, de roca del rebosadero.
Concreto Auto-nivelante	Es un concreto hidráulico de resistencia nominal de 4000 psi (28 Mpa). Se utilizó en la construcción de estructuras en las cuales era difícil lograr una óptima consolidación debido a la geometría de la estructura y/o a las condiciones de colocación en el sitio, ejemplo Blindaje del Pozo de Toma. Se controló la manejabilidad mediante la medición de una torta de pasta de aproximadamente 60 cm para un manejo óptimo

A continuación en la Tabla No. 18, se relacionan las principales clases de concreto previstas y que correspondían a los diseños de mezcla desarrollados durante la ejecución del proyecto. Es decir durante su implementación fueron modificados de acuerdo con su comportamiento en cuanto la resistencia a la compresión y manejabilidad.

**Tabla No. 18** Mezclas de concreto – Dosificación por m3. Fuente (Consortio Desarrollo Guajira e INCODER, 2011)

Clase	Resistencia Nominal (psi)	Pasta Cementante				Agregados						Aditivos				
		Cemento (kg)	Ceniza (kg)	Agua (kg)	Relación agua/cemento	Grueso		Fino				Eucon 37 (Plastificante) kg	Eucon 537 (Acelerante) kg	Sikament 306 (Plastificante) kg	Sigunit 53 (Acelerante) kg	Sikafume (Humo de Si) kg
						TM	(kg)	TM	(kg)	TM	(kg)					
<b>Neumático:</b> Definido como el concreto proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie con fines de estabilización de la misma.	3570	500	-	255	0,51	¾"	618,7	-	-	No. 4	697,7	-	-	9,0	38,5	50,0
<b>D:</b> Se consideró el de mayor producción por utilizarse en la estructura del rebosadero. Inicialmente consideró 290 kg de cemento por m <sup>3</sup> de concreto, sin empleo de ningún aditivo y con una relación agua/cemento de 0,67 lo cual se modificó.	4000	210	90	180	0,60	3"	572,9	1 ½"	571,5	No. 4	748,6	0,9	2,7	-	-	-
<b>E:</b> Fue el segundo mayor producido en la obra ya que fue empleado como concreto masivo y como concreto estructural por esta razón se encuentra en diferentes estructuras entre ellas la presa principal	4000	224	96	192	0,60	1 ½"	885,5	-	-	No. 4	932,3	1,4	1,6	-	-	-
<b>I:</b> Este concreto es considerado como de tipo estructural se utilizó para estructuras de presa (Plinto y cara impermeable). Presentó variación por las exigencias para el concreto de la cara impermeable pues se consideró una cantidad de cementante mayor, se incorporó agregado con TM ¾" y se redujo levemente la relación agua/cemento.	3000	203	87	151	0,52	1 ½"	963,3	-	-	No. 4	1012,8	2,6	2	-	-	-
<b>J:</b> Se utilizó en las cajas de los accesorios y algunos anclajes de las Conducciones y en los muros de la Presa Derivadora.	3000	210	90	180	0,60	¾"	975,5			No. 4	878,2	1,95	1,8	-	-	-
<b>F:</b> se utilizó en estructuras de puentes y túneles de desvío y toma.	4000	252	108	208	0,58	¾"	881,7			No. 4	847,1	0,6	0,6	-	-	-
<b>M:</b> se utilizó como concreto de reposición de roca y en solados de limpieza de las diferentes estructuras.	2500	185,5	79,5	159	0,60	1 ½"	947,2			No. 4	996	1,4	0,6	-	-	-

### 3.3.1.1 Relación A/C

Se determinó que la relación agua/cemento contenida en los diseños para los concretos masivos y estructurales, especificaba un valor máximo de 0,45; Sin embargo como se observa de la Tabla No. 18, las relaciones fueron superiores al límite previsto en todos los casos. Condición dada por la necesidad de manejabilidad del concreto ocasionado por las altas temperaturas.

## **3.4 Agentes Externos**

### **3.4.1 Temperatura ambiente**

Para el caso A, la temperatura máxima permitida se determinó como la Máxima Temperatura Ambiente Mensual Multianual calculada con los registros del IDEAM en la estación de La Paulina cercana al área del Proyecto, lo cual correspondió a 28,2 °C.

Como se relacionó en la Tabla No. 17, para los concretos masivos se estableció una temperatura de colocación máxima de 15°C y para los concretos hidráulicos convencionales una máxima temperatura de 27°C. De igual forma se estableció como temperatura de fraguado 51°C y debía lograrse en las 10 primeras horas de evolución del concreto, la cual se consideró como el periodo de fraguado.

### **3.4.2 Humedad Relativa**

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica en la que se emplazó el caso de estudio, se estableció que la humedad promedio es del orden de 50%. (Según datos IDEAM).

## **3.5 Aditivos empleados en la mezcla**

Para evitar problemas con los diseños de mezcla propuestos, se inició el programa de optimización de mezclas en cual incluyo los siguientes aditivos:

### **3.5.1 Escoria de alto horno**

Se ensayó con escoria granulada de alto horno (Paz de Río), la cual fue descartada por requerir procesos adicionales para lograr su uniformidad.

### **3.5.2 Humo de sílice**

El humo de sílice controla esta reacción pero representaba, de acuerdo a la dosificación necesaria para el control efectivo, altos costos marginales.

En los concretos Neumáticos, la cantidad de cementante fue en general del mismo orden que para los concretos hidráulicos desde el inicio de su producción, la forma como se garantizaron las resistencias iniciales fue por medio de la aplicación de

humo de sílice denominado Sika fume. De tal manera que no fue necesario modificar las mezclas de concreto neumático para incluir una protección adicional ante la reacción álcali-agregado con un porcentaje del 10%.

### **3.5.3 Ceniza volante de Termotasajero**

La ceniza volante se convirtió en la mejor alternativa a implementar en el proyecto, ya que no presentó las dificultades de las otras opciones y favorecía la mitigación de la reacción Álcali-Agregado, como se pudo confirmar con los ensayos efectuados.

Las proporciones estuvieron del orden del 20%, 30%, 40% y hasta 43% de reemplazo de cementante, garantizando el control de la RAS mediante el ensayo de ASTM 1260.

También se realizaron ensayos para este control empleando polvo de roca, en un 10% y 20%, pero los resultados obtenidos no fueron positivos debido a que no se disminuyó el efecto de la RAS.

Considerando la incorporación a las mezclas de concreto de la ceniza volante y teniendo en cuenta que el efecto de adición de puzolanas, hace que la resistencia a la compresión se desarrolle más lentamente, se modificó la edad para evaluación de la competencia del concreto en cuanto a resistencias a 90 días puesto que antes se consideraba a 28 días.

Por lo anterior los diseños de mezcla y su producción se dividieron en dos etapas:

- ✓ La primera etapa (semestre I de 2008) donde el cementante está constituido exclusivamente por cemento, se consideró el uso predominante de cemento Portland Tipo I, relaciones agua cemento bastante altas, entre 0,66 y 0,70, y la alta utilización de súperplastificante con proporciones de 1,5% a 1,8% de este aditivo. Colocados en obra el 7,2% de la totalidad de los concretos considerados para el Proyecto. Se fundieron con estos concretos, estructuras como: el Tapón del Túnel de Toma, la Solera del Túnel de Desvío, la Estructura del Puente Ranchería y gran parte del Tanque Amortiguador.
- ✓ La segunda (desde el semestre II de 2008-2010) donde el cementante se constituye de cemento y ceniza volante. La inclusión no modifica inicialmente las relaciones agua/cemento sino hasta seis meses después, donde se disminuye hasta llevara a los concretos hidráulicos a 0,60. Con esta combinación de cementante se produce aproximadamente el 92,80% de los concretos hidráulicos.

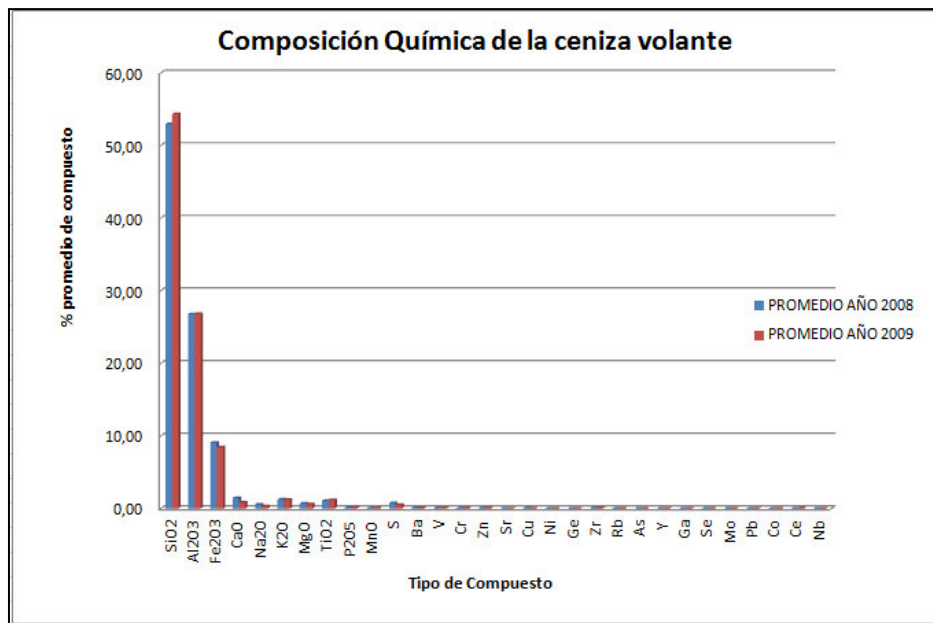
Para el caso de estudio la ceniza corresponde según la norma ASTM C 618 a la Clase F.

Donde:

- La ceniza clase F, contiene menos de un 10% de CaO, es generalmente un producto de combustión de la antracita y carbones bituminosos y produce las cenizas de “bajo contenido en calcio”.
- La ceniza clase C, contiene entre 15 a 35 % de CaO, es generalmente un producto de combustión del lignito y carbones sub-bituminosos y produce las cenizas de “alto contenido en calcio”.

En la Gráfica No. 12 se relaciona la composición química promedio de la ceniza volante implementada en el proyecto, en la cual se muestra la relación comparativa entre el año 2008 y 2009 respectivamente. (Los resultados obtenidos de la ceniza volante se encuentran en el Anexo No. 3 del presente documento).

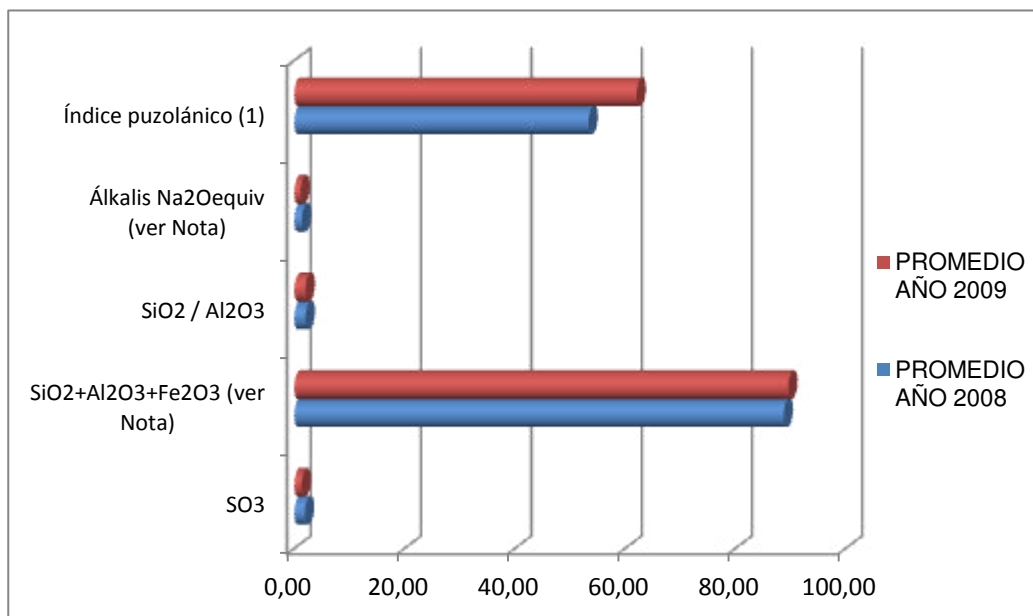
**Gráfica No. 12.** Comparativo de composición química de la ceniza volante años 2008 y 2009.



Se observa que varios de los compuestos presentaron modificación en sus componentes de un año al otro, mejorando substancialmente parámetros como los relacionados en la Gráfica No. 13 y que son fundamentales para el control de RAS.

Compuesto en %	Año 2008	Año 2009
SiO <sub>2</sub>	52,95	54,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,77	26,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,06	8,45
CaO	1,45	0,86
Na <sub>2</sub> O	0,56	0,33
K <sub>2</sub> O	1,25	1,22
MgO	0,72	0,59
TiO <sub>2</sub>	1,08	1,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,12
MnO	0,03	0,02
S	0,77	0,53
Ba	0,10	0,09
V	0,06	0,06
Cr	0,02	0,03
Zn	0,03	0,03
Sr	0,02	0,02
Cu	0,02	0,02
Ni	0,01	0,01
Ge	0,01	0,00
Zr	0,02	0,03
Rb	0,01	0,01
As	0,01	0,01
Y	0,01	0,01
Ga	0,00	0,01
Se	0,00	0,00
Mo	0,00	0,01
Pb	0,00	0,01
Co	0,00	0,01
Ce	0,00	0,04
Nb	0,00	0,00

**Gráfica No. 13.** Estimación de % de álcalis de la ceniza volante



**Tabla No. 19** Alcalinidad de la ceniza.

Compuesto en %	Año 2008	Año 2009
SO <sub>3</sub>	1,91	1,33
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ver Nota)	88,78	89,59
SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,03	2,03
Álcalis Na <sub>2</sub> Oequiv (ver Nota)	1,39	1,13
Índice puzolánicos (1)	53,37	62,08

NOTA: Para ceniza clase F el mínimo porcentaje de la suma SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es 70%; para SO<sub>3</sub> máximo 5%; contenido máximo de álcalis equivalente = 5% (Normas NTC 3493 y ASTM C 618).

(1) Calculado según la fórmula de Francoise X. Deloye "Le calcul minéralogique. Application au monuments anciens », Bull. liaison Labo. P. et Ch. 175, Sept-Oct, pp 55-58.

$$Puzolanicidad = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO + MgO}$$

### 3.5.4 Aditivos plastificantes y súperplastificantes

Como se mencionó en apartes anteriores, la existencia de un alto contenido de micro-finos afectó la manejabilidad y en consecuencia surgió la necesidad de incorporar o modificar la cantidad de aditivos requeridos para optimizar las mezclas.



Como se observa en la Tabla No. 18, las principales clases de aditivos implementados fueron:

- ✓ Plastificantes: implementados en la totalidad de los concretos fabricados variando su proporción dependiendo la clase de concreto. Para el caso del concreto clase I, se observa que se tiene el mayor contenido de plastificante lo cual es directamente proporcional al contenido de agregado fino incluido en la mezcla.
- ✓ Acelerantes: se implementó en la totalidad de los concretos, pero la máxima proporción se usó en los concretos clase D.
- ✓ Humo de sílice: fue implementado en los concretos neumáticos.

### **3.6 Tipo de ensayos realizados para determinar presencia de RAS**

Al finalizar el año 2007 e inicio del año 2008, se identificó el potencial reactivo de los agregados destinados para la producción de los concretos del proyecto. Consecuentemente, se iniciaron los primeros ensayos de acuerdo con la normatividad vigente.

Mediante la norma ASTM C1260 se hicieron las dos primeras pruebas en el laboratorio utilizando cemento tipo III, (empleado en todos los concretos hidráulicos del proyecto), el primer ensayo superó el 0,1% y el segundo se elevó a 0,36%, a los 16 días, lo que indicó claramente el potencial reactivo de estos agregados. (Ver Gráfica No. 14).

Como se mencionó antes, se trató el problema con variadas alternativas como fue el uso de escoria granulada la cual no se implementó, humo de sílice para concretos neumáticos y ceniza volante de Termotasajero. Para este caso se siguió lo previsto en la norma ASTM C1567 <sup>6</sup>

En el Anexo No. 4, se relacionan los resultados de los principales ensayos adelantados en el proyecto. A continuación en la Gráfica No. 14 se presenta el comportamiento inicial de los agregados determinados mediante ensayo ASTM C1260 y en la Gráfica No. 15, Gráfica No. 16, Gráfica No. 17 y Gráfica No. 18 el comportamiento final incluyendo adiciones minerales y aditivos (plastificantes o acelerantes según fuera el caso) .

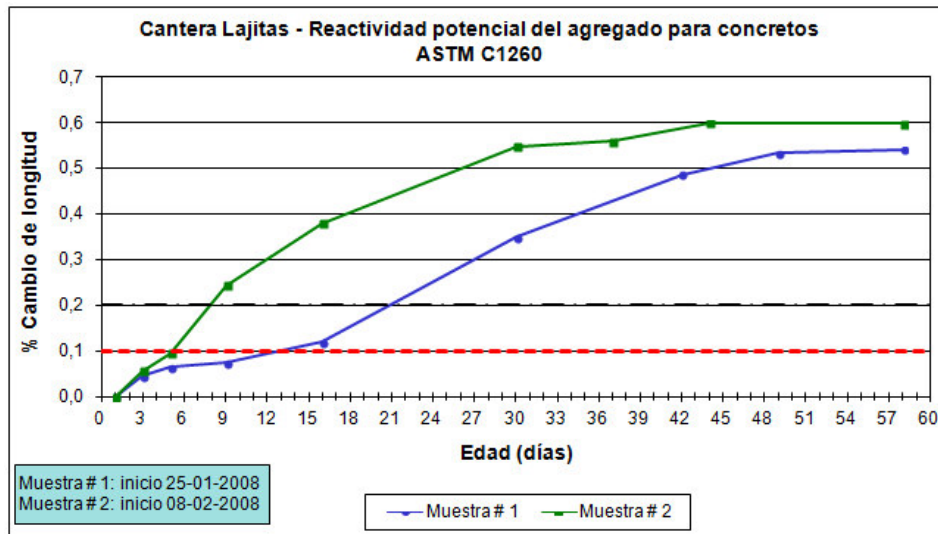
Para todos los casos presentados a continuación, se utilizó cemento portland Tipo III combinado con las adiciones minerales y/o aditivos según la clase de concreto en particular los hidráulicos y estructurales.

---

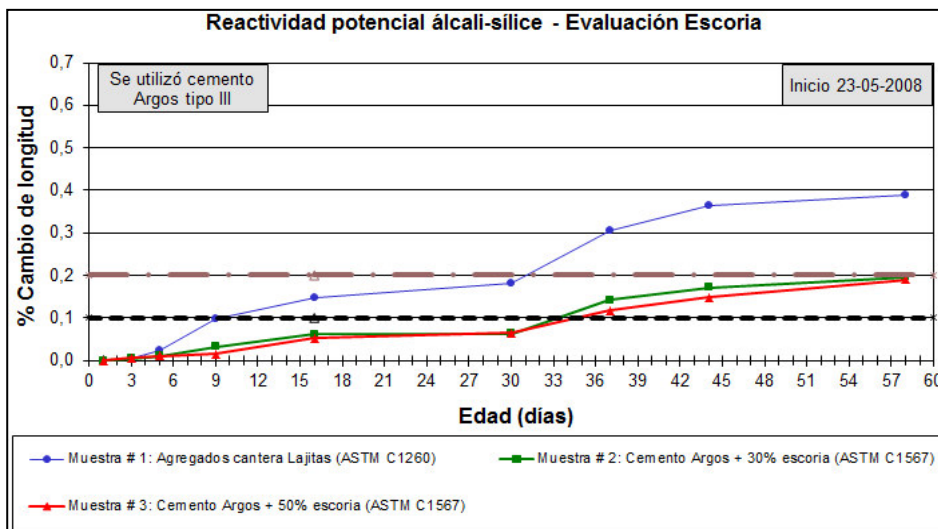
<sup>6</sup> ASTM C1567 correspondiente al "Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method)".

- Para efectos del análisis se incluyen en el presente documento, solo los resultados de los ensayos iniciales (año 2008- condición original) y finales (año 2009- condiciones modificadas). Los demás resultados y la discriminación de cada mezcla usada en los ensayos se pueden observar en el Anexo No. 4.
- Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaOH.

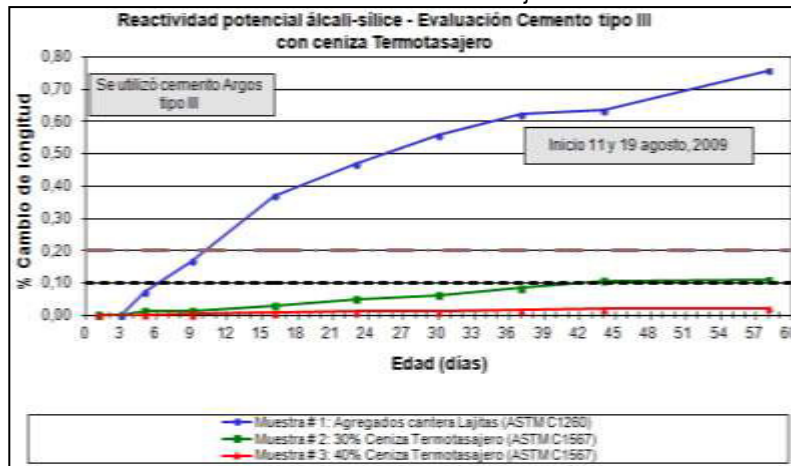
**Gráfica No. 14.** Determinación del potencial reactivo de los agregados en la fase inicial de diseños de mezcla



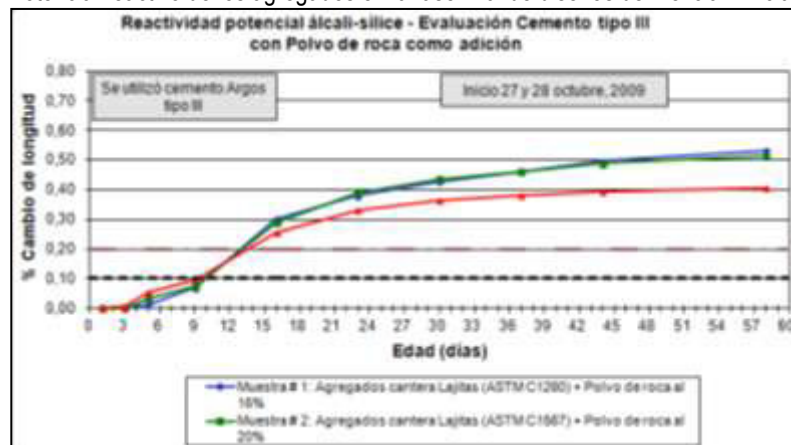
**Gráfica No. 15.** Potencial reactivo de los agregados en la fase final de diseños de mezcla – Incluyendo Escoria



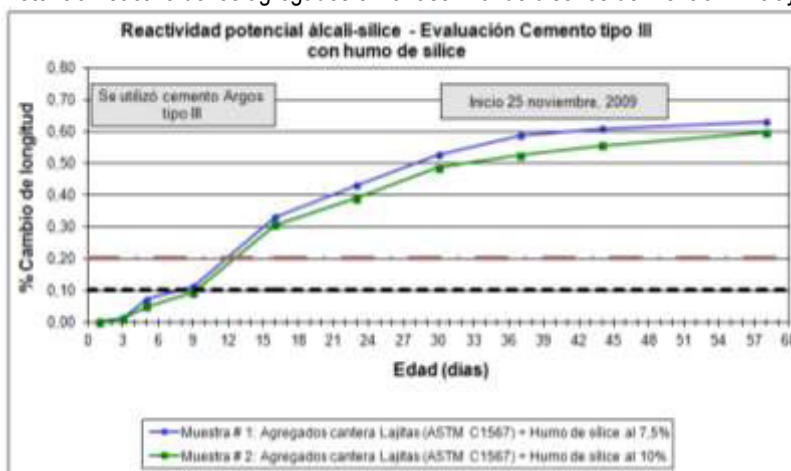
**Gráfica No. 16.** Potencial reactivo de los agregados en la fase final de diseños de mezcla – Incluyendo ceniza Volante de termotasajero.



**Gráfica No. 17.** Potencial reactivo de los agregados en la fase final de diseños de mezcla – Incluyendo polvo de roca



**Gráfica No. 18.** Potencial reactivo de los agregados en la fase final de diseños de mezcla – Incluyendo humo de sílice



Durante la ejecución del proyecto los ensayos demostraron el alto potencial reactivo de los agregados y la necesidad de combatirlo buscando variadas opciones en términos de dosificación y de adiciones para mitigar los daños futuros.

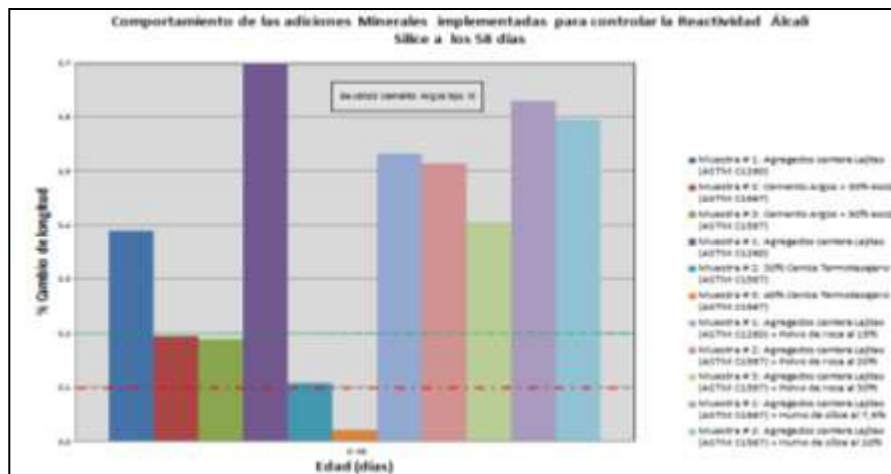
### 3.7 Análisis de datos y resultados

- Con relación a la fuente de materiales para conformación de concretos de obra, se estableció presencia de rocas con alto contenido de sílice como es el caso de la andesitas – dacitas, caracterizados por la presencia de Sílex ( $\text{SiO}_2$ ) Sílex calcedónicos y sílex cuarzoso, es decir que son de reacción rápida al fenómeno de RAS si no se controlan puesto que su aparición se da a partir de los 5 años de colocados los concretos.
- La granulometría presentó modificación, debido al alto contenido de micro-finos, lo que hizo necesario el ajuste para mejorar la manejabilidad de las muestras. Este ajuste consistió en definir nuevos límites de husos granulométricos considerando el material pétreo disponible en la zona en un rango del 10% de variación en el “*porcentaje que pasa*” de cada material establecido a partir de la gradación media histórica. Adicionalmente la inclusión de plastificantes y súperplastificantes.
- Con relación a la medida de alcalinidad del cemento utilizado en obra, se determinó que siempre se mantuvo por debajo del rango previsto 0,6% ya que se encuentra 0,39%, lo cual ayudo a inhibir el efecto de la RAS. Adicionalmente considerando la curva de expansión Vs. la alcalinidad del cemento se establece que con el resultado promedio reportado, se encontraría en el límite inferior de una posible expansión, en este sentido para efectos de la investigación es claro que esta variable no incidió para la definición del potencial reactivo presentado ya que desde su concepción fue controlado.
- Para el caso A, el control del calor de hidratación fue necesario mediante refrigeración, mediante el uso de parte de agua de mezcla convertido en escamas de hielo antes de su colocación. Lo anterior como consecuencia de las altas temperaturas registradas derivadas del alto contenido de Aluminato Tricálcico ( $\text{C}_3\text{A}$ ), lo cual era indispensable; para tener resistencias iniciales altas. Sin embargo dadas estas condiciones que buscaban mantener las resistencias se observó que el equipo de ingeniería logro equilibrar el problema incluyendo adiciones minerales. De esta forma se disminuyó la dosificación del cemento lo que proporcionalmente disminuyo la alcalinidad.
- Para la relación agua/cemento (A/C) según la literatura las relaciones deben ser bajas, particularmente inferiores a 0,40 ya que superiores a este límite puede causar efecto pessimun, en razón a la disponibilidad de agua que puede

provenir de la humedad como factor externo. De lo anterior se puede concluir que para el caso de estudio las relaciones A/C fueron altas, pero eso no llevo a intensificar el proceso de RAS; debido a que no era posible la entrada de agua por causa de la humedad relativa por estar por debajo del 80%. En este sentido se puede interpretar como un equilibrio entre las dos variables, favoreciendo la disminución de la producción de gel al limitar la disponibilidad de agua.

- La inclusión de ceniza volante para mejorar la manejabilidad de la mezclas de concreto, no solo beneficio este aspecto sino que fue efectivo como mecanismo de mitigación del efecto de reactividad álcali sílice. Sin embargo, al revisar la composición química de la ceniza para el primer año de implementación, arrojó un valor promedio de Álcalis  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente de 1,39 superior al máximo permitido por la ASTM C 618 (1,15) lo cual como se evidencia fue mejorado en el segundo año de implementación disminuyendo a 1,13 cumpliendo con lo establecido en la norma. Esta situación de no haberse mejorado probablemente había incidido de manera negativa en la prevención de la RAS en los concretos instalados incluso ocasionando expansiones, fisuración y pérdida de resistencia.
- No se realizaron resultados de ensayos de la ASTM C 441, empleado para comprobar la efectividad de las adiciones minerales para controlar la expansión del concreto debido a la RAS. Ya que de haberse efectuado serviría como elemento probatorio adicional de la efectividad o de la acertada dosificación empleada en las distintas clases de concreto diseñadas.
- A continuación se presenta el comparativo de resultados de expansión según la adición mineral implementada en el proyecto, al tiempo máximo en que se ejecutó el ensayo de ASTM C 1260 (58 días).

**Gráfica No. 19.** Comparativo de comportamiento de las adiciones minerales probadas para mitigar la RAS en el caso A.



A la luz de los resultados de los ensayos de expansión efectuados, se puede concluir que el aditivo mineral más efectivo y óptimo en su comportamiento para la mitigación de la RAS, correspondió a la ceniza volante en particular la correspondiente a la suministrada por la firma Fortimezclas (con adición del 50%) y Termotasajero (con adición del 40%), siendo este último el aceptado en los diseños por proveer menor remplazo de cementante. En consecuencia se convirtió en el mecanismo de control de la RAS, implementado por el equipo de ingeniería en las clases de concreto D, E, I, J, F y M, es decir en el 95% de los concretos construidos en el proyecto.

- Con relación al humo de sílice, polvo de roca y la escoria, se observa que para fases iniciales del proceso de reactividad, actúan adecuadamente mitigando la reacción. El humo de sílice a los 12 días presenta una activación del fenómeno superando el 0,2% de expansión, caso similar para el polvo de roca. En el caso de la escoria la activación de fenómeno, inicia a los 33 días superando el 0,1% de expansión de manera exponencial. Por lo tanto se establece que estas adiciones; luego de pasado cierto rango de tiempo se reactivan, haciendo bastante limitando su uso ya que funciona para periodos muy cortos. Para garantizar una mayor duración es indispensable proporciones más altas en los diseños de mezcla, que podrían implicar un mayor costo para el proyecto.
- En el caso del uso de escoria como se mencionaba en apartes anteriores, era indispensable realizar molienda complementaria; lo que incluía un proceso adicional antes de incluirse en la mezcla. Además se requería un porcentaje entre el 30%-50%, haciéndolo menos atractivo económicamente para su implementación.
- El uso de humo de sílice en concreto neumático fue apoyado con diferentes dosificaciones de adiciones tanto plastificantes como acelerantes, para mantener la resistencia a compresión del concreto al final. Adicionalmente el porcentaje requerido para mejorar la eficacia del mismo en el diseño de la mezcla, implicaba costos superiores a los requeridos con el uso de ceniza volante, de ahí que se descartara su uso en todas las clases de concreto.
- Actualmente el proyecto del caso A se encuentra en operación, no presenta reporte de daño de las losas del concreto que conforma la presa, (ver Anexo No. 5). Lo anterior teniendo en cuenta que corresponde a la zona expuesta a procesos de humedecimiento y secado. Sin embargo no fue posible obtener datos de ensayos posteriores a la fecha de entrega de la presa. Sería oportuno que se adelantarán estudios de investigación sobre el comportamiento de RAS, ya que permitiría una caracterización más cercana al

comportamiento del fenómeno que se agrava con el paso del tiempo. Se recomienda el uso de petrografías con núcleos extraídos de las zonas vulnerables, análisis químicos y de inspección preliminar por parte del operador para garantizar el estado de los concretos.

## 4. CASO B

### 4.1 Descripción del proyecto

La presa del “caso B” actualmente se encuentra en proceso de construcción y está diseñada para embalsar agua; en un volumen útil de 14,6 millones de metros cúbicos, buscando garantizar agua para los futuros años.

A continuación se reportan las principales características de la presa y obras anexas previstas en este proyecto. La presa actualmente en construcción (2012 - 2015) es del tipo de enrocado con cara de concreto o “Concrete Faced Rockfill Dam” (CFRD).

#### 4.1.1 Geometría externa

En la Tabla No. 20, se relacionan las principales características de la presa.

**Tabla No. 20** Principales características de la presa y obras anexas. Fuente (amb Embalse de Bucaramanga, INAR ASOCIADOS S.A, CONALVIAS CONSTRUCCIONES, INTEGRAL INGENIEROS CONSTRUCTORES, 2012)

Componente	Parámetros	Características
Presa	Altura Máxima (hasta la cresta)	103.6 metros
	Longitud y ancho de la cresta	270m /10 m
	Taludes	Aguas arriba: 1,4H:1,0V Aguas abajo: 1,7H:1,0V, sobre este talud se construirá una vía de 8 m de ancho con tres salidas en la margen derecha y dos salidas en la margen izquierda, por lo que entre bancos generados por la vía se tendrán taludes máximos de 1,3H:1,0V, el talud de cierre tendrá una pendiente de 1,7H:1,0V.
	Espesor	Varía entre 0.30 m y 0.60 m
Muro parapeto	Altura	Varía entre 5,30m a 6,50m

#### 4.1.2 Zonificación de la presa

El cuerpo de la presa se encuentra dividido en varias zonas, que se describen a continuación desde el talud aguas arriba hasta el talud aguas abajo: A continuación se resumen las principales



**Tabla No. 21** Descripción de la zonificación de presa. Fuente (amb Embalse de Bucaramanga, INAR ASOCIADOS S.A, CONALVIAS CONSTRUCCIONES, INTEGRAL INGENIEROS CONSTRUCTORES, 2012)

<b>Componente</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Características</b>
Zonificación – Rellenos de la presa	Zona 4	Tamaño máximo 100 cm, colocados mecánicamente sobre el talud aguas abajo, pendiente variable entre 1,5:1 a 1,7:1
	Zona 3D	Tamaño máximo 90 cm, conformación con 6 pasadas con rodillo de 12 t, zona de drenaje.
	Zona 3C	Enrocado del espaldón aguas abajo, material sin procesar, tamaño máximo de 80 cm, conformación con 6 pasadas con rodillo de 12 t. Agregar agua en proporción 200l/m3 de material.
	Zona 3B	Enrocado del espaldón aguas arriba, material clasificado, tamaño máximo 60 cm, conformación con 6 pasadas con rodillo de 12 t. Agregar agua en proporción 200l/m3 de material.
	Zona 3A	Zona de transición entre espaldón aguas arriba y la cara de concreto, material semi-procesado, conformación con 4 o 6 pasadas del rodillo de 12t.
	Zona 2A	Filtro de protección de tamaño máximo 4 cm, compactado en capas de 20 cm y 4 pasadas del rodillo de 12 ton.
	Zona 2B	Material como soporte de la Cara de Concreto, material clasificado no cohesivo, tamaño máximo 10 cm, espesor de capa máximo 30 cm, compactación con 4 pasadas del cilindro de 12 t.
	Zona 1B	Empleado en la protección del Material 1A' , con tamaño máximo 30 cm al igual que el espesor de capa, y compactación con 2 pasadas del cilindro de 12 t.
	Zona 1A	Material para la barrera impermeable entre la Ataguía y la Presa, tamaño máximo 4 cm, espesor de capa de 30 cm y compactación con 4 pasadas del cilindro de 12 t.

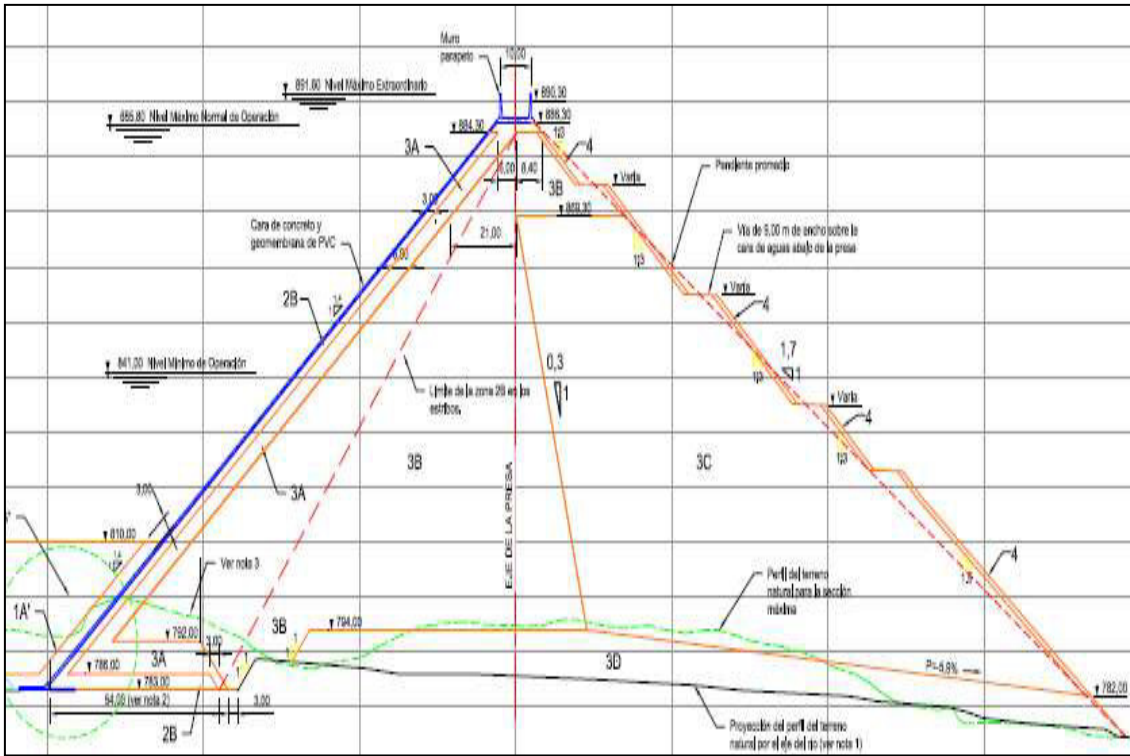


Figura No. 15 Zonificación de los rellenos de la Presa Principal. Fuente: (amb Embalse de Bucaramanga, INAR ASOCIADOS S.A, CONALVIAS CONSTRUCCIONES, INTEGRAL INGENIEROS CONSTRUCTORES, 2012).

### 4.1.3 Juntas en la cara de concreto

Tabla No. 22 Características de las juntas de la cara de concreto. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014)

Componente	Parámetros	Características
Juntas de la cara de concreto	Juntas Verticales	Separación entre losas de 2.50 cm para las consideradas como juntas de compresión, las consideradas como juntas de tracción no se separan.
		Lleno compresible: Caucho etileno-propileno-dieno (EPDM) para juntas de compresión.
		Para las juntas de tracción se empleará un material antiadherente como asfalto bituminoso.
		Sello de cobre inferior
	Sello de junta: sellador elástico de Poliuretano	
	Juntas Perimetrales (Unión entre Plinto y la cara de concreto)	Sello de cobre inferior
		Lleno compresible: madera de abarco con tornillos de fijación.
Sello superior externo con Banda lisa de Poliéster-Poliamida anclada a la cara de concreto.		
Juntas de		Sello de cobre Inferior

Componente	Parámetros	Características
	Expansión (Unión de la cara de concreto y muro parapeto)	Material antiadherente asfalto bituminoso o Igol denso
		Sello superior: Elastómero extruido y vulcanizado anclado a la Cara de Concreto y al Muro Parapeto tipo omega.
		Relleno de neopreno en el bulbo del sello de cobre.

#### 4.1.4 Plinto

**Tabla No. 23** Características del plinto. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014)

Componente	Parámetros	Características
Los Perimetral	Diseño general	Plinto externo: variable entre 4,0 y 10,0 m con un espesor de 0,60 m
		De acuerdo a las condiciones encontradas en sitio, no se requiere la implementación de Plinto Interno.
		Sello de junta: sellador elástico de Poliuretano

## 4.2 Tipos de agregado utilizados en la obra

### 4.2.1 Fuente de los agregados La Fortuna

Corresponde a roca metamórfica perteneciente a la Unidad Gneis de Bucaramanga, moderadamente fracturada, de color gris, de grano medio a grueso, con tramos foliados y tramos masivos, replegada y con una resistencia en general de dura a muy dura. Presenta discontinuidades cerradas a parcialmente abiertas, planas rugosas a lisas y poco oxidadas.

### 4.2.2 Fuente el cuenco

El subsuelo de esta zona se ubica sobre la unidad de gneises de Bucaramanga, con eventuales diques o intrusiones de diorita y/o granodiorita está constituido por roca tipo diorita cizallada que exhibe grandes variaciones texturales. En general es una roca masiva, densa, con tamaño de grano medio a fino, de color verde y con un alto grado de fracturamiento.

Los materiales utilizados en el proyecto son de origen aluvial del río Suratá, extraídos desde la cantera la Fortuna, para la elaboración de agregados pétreos, usados en la elaboración de concretos.

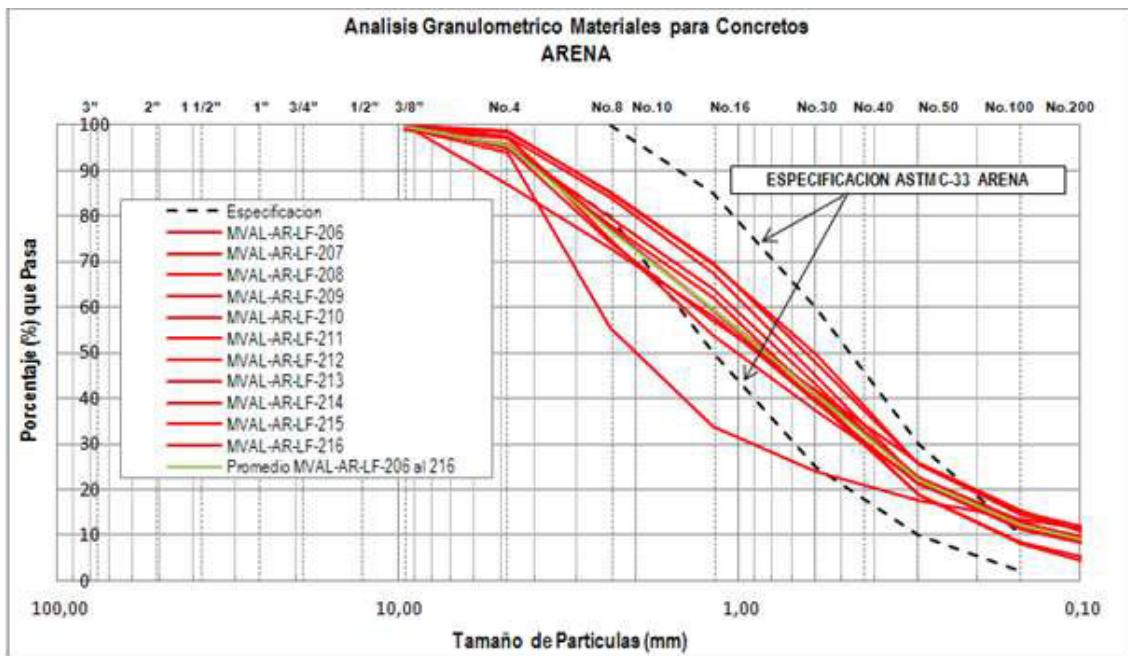
#### 4.2.2.1 Granulometría de Agregados

Teniendo en cuenta que este proyecto está en ejecución actualmente los datos presentados corresponden a resultados parciales, en consecuencia se incluyen con el fin netamente informativo.

##### ✓ Arena:

De la granulometría efectuada hasta el momento, se observa que la tendencia de la arena usada va hacia el límite grueso de la especificación cumpliendo con lo previsto en la ASTM C-33 (NTC 174).

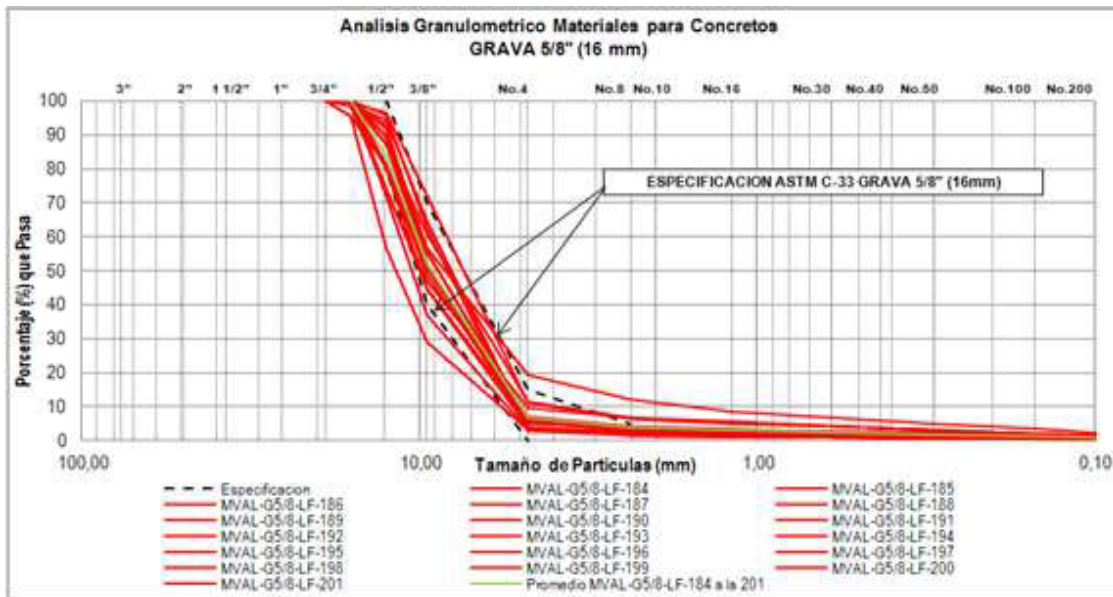
Gráfica No. 20. Resultados de granulometría de arena. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014)



##### ✓ Grava de 16 Milímetros (5/8"):

En el caso de este agregado, los resultados no muestran una tendencia definida, sin embargo esta en los límites previstos en la norma ASTM C-33 (NTC 174).

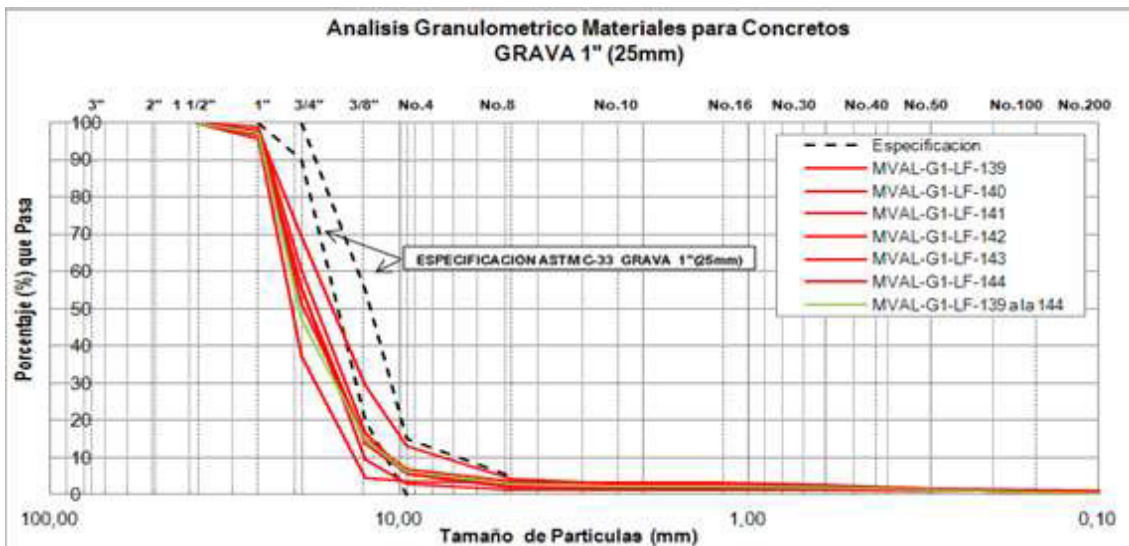
Gráfica No. 21. Resultados de granulometría de grava de 16mm. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014)



✓ Gravas de 25 Milímetros:

Este agregado no se ha ajustado a lo previsto en la norma ASTM C-33 (NTC 174), sin embargo tiene tendencia al límite grueso lo cual se ha conservado en el tiempo.

Gráfica No. 22. Resultados de granulometría de grava de 25m. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014)



Los principales ensayos adelantados a los agregados corresponden a lista que se incluye a continuación los cuales se ha comprobado cumplen con lo exigido en la respectiva norma:

- ✓ Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino. NTC 237. (ASTM C128)
- ✓ Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso. NTC 238. (ASTM C128).
- ✓ Masa unitaria seca y porcentaje de vacíos. NTC 92 (ASTM C29, ASTM C29M).

### 4.3 Tipo de cemento empleado en la obra

A continuación se reportan las características físicas y mecánicas del cemento empleado en la obra.

- ✓ Fabricante: Cemex, Tipo I.
- ✓ Cemento Cemex tipo I a granel.

Teniendo en cuenta la incidencia que tienen los álcalis en el fenómeno de RAS, a continuación se reportan las características químicas del cemento usado en obra. Los ensayos y los resultados fueron analizados por la autora del presente documento, mediante los resultados de la utilización de un espectrómetro de fluorescencia de rayos x, MagixPro PW-2440 Philips equipado con tubo de Rodio, con una potencia de 4 KW. (Este equipo tiene sensibilidad de 200ppm (0.02%) en la detección de elementos pesados). (Ver Tabla No. 24).

**Tabla No. 24** Resultados de parámetros químicos. Fuente propia.

Elemento y/o Compuesto		Resultado	Valor exigido por la norma
ÓXIDOS	Óxido de Sílice SiO <sub>2</sub>	22,686	
	Óxido de Aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,167	
	Óxido de Hierro Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,147	
	Óxido de Calcio CaO	62,527	
	Óxido de Magnesio MgO (debe ser menor de 7%)	0,782	< 6%
	Óxido de Azufre SO <sub>3</sub> (debe ser menor de 4,5% si C <sub>3</sub> A > 8%)	2,991	< 3,5%
	Óxido de Sodio Na <sub>2</sub> O	0,241	
	Óxido de Potasio K <sub>2</sub> O	0,511	
	Óxido de Titanio TiO <sub>2</sub>	0,220	
	Óxido de Estroncio SrO	0,140	
	Óxido de Zinc ZnO	0,025	
	Óxido de Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,445	
Alcalis (Na <sub>2</sub> O+0,658K <sub>2</sub> O)		0,577	< 0,6%
(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +tiO <sub>2</sub> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,406	> 0,64%
Cl		0,117	

Como se observa en la Tabla No. 24, la mayoría de los parámetros cumplen con el requerimiento y las características que definen los cementos Portland Tipo I.

Adicionalmente mediante ensayo de Difractometría de Rayos X (DRX), se pudieron detectar compuestos y elementos adicionales tales como: Calcopirita, cloruro de sodio, cromo, Dióxido de Silicio, Fluoruro de calcio, Fluoruro de Sodio

Erbio, Óxido de Aluminio, Óxido de Cromo, Óxido de Hierro, Óxido de Praseodimio y óxido de uranio, cuya composición detallada se puede observar en el Anexo 6.

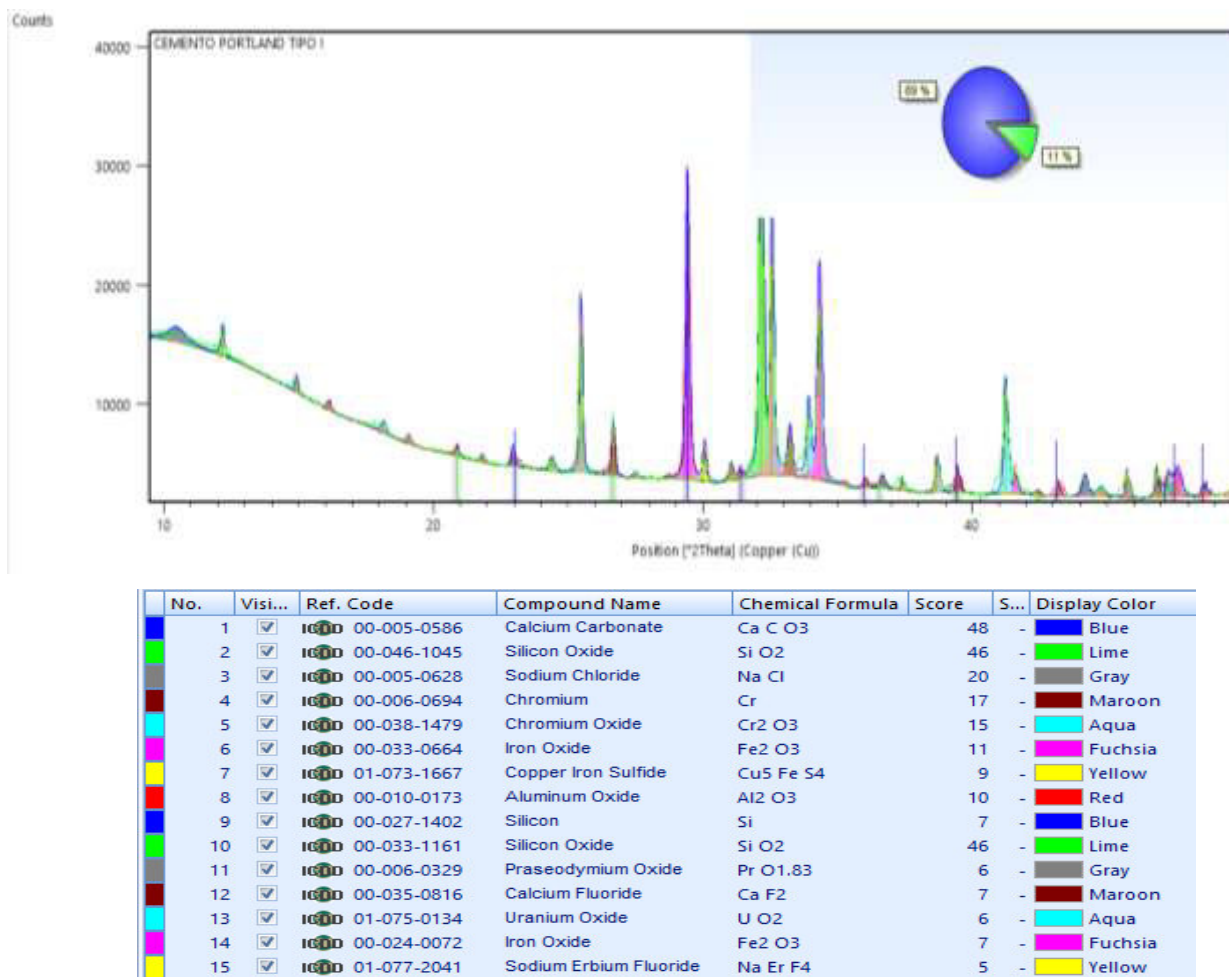


Figura No. 16 Difractograma de polvo de muestra de Cemento Portlan Tipo I – Cemex a granel. Fuente Propia.

Resultados del ensayo DRX permitieron distinguir elementos o conformaciones de compuestos en el caso de diferentes sílices (que poseen la misma fórmula empírica  $SiO_2$  pero pueden estar asociadas a concentraciones de cuarzo, cristobalita entre otros) y diferentes alúminas (que poseen la misma fórmula empírica  $Al_2O_3$ ), compuestos que muchas veces se pasan inadvertidos y que posteriormente reaccionan afectando la durabilidad del concreto. Adicionalmente se estableció que en la muestra se encontraba el 89% de Carbonato de calcio y un 11% de Óxido de sílice como compuestos pico.

### 4.3.1 Características del Concreto fabricado

#### 4.3.1.1 Diseño de mezcla

En este proyecto los concretos a producir son de 21MPa, 28MPa, 35MPa, concreto lanzado de 28MPa, auto-compactante de 35MPa, los agregados utilizados para su producción es arena, gravas de 16 mm y 25 mm.

A continuación se presentan los diferentes tipos de concretos previstos en el proyecto y sus respectivos diseños de mezclas.

**Tabla No. 25** Características de los concretos implementados en el caso B. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014)

Tipo de Concreto	Especificaciones
Concreto hidráulico de 21MPa	Este concreto tiene una relación agua cementante de 0,50, cemento tipo 1 adicionado con ceniza de Termotasajero al 30%, agua 185 kg arena 42%, grava 1" (25 mm) 58%, aire 1.5% y 0,35% de aditivo de BASF.
Concreto hidráulico de 21MPa con hielo# 301	Este concreto tiene una relación agua cementante de 0,50, cemento tipo 1 adicionado con ceniza de Termotasajero al 30%, agua 92,5 Kg, hielo 92,5 Kg, arena 42%, grava 1" (25 mm) 58%, aire 1.5% y 0,35% de aditivo de BASF.
Concreto hidráulico de 21MPa con hielo# 102	Este concreto tiene una relación agua cementante de 0,50, cemento tipo 1 adicionado con ceniza de Termotasajero al 30%, agua 102.5 kg, hielo 90 kg, arena 44%, grava 1" (25 mm) 51%, grava de 5/8" (16mm) 25%, aire 1.5%, 0,35% de aditivo pozzolith 360R y 1.30% de aditivo 460N de BASF. Este diseño se encuentra en pruebas industriales.
Concreto hidráulico de 28MPa	Este concreto tiene un relación agua cementante de 0,48. Contiene, cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 30%, agua 185 Kg, arena 42%, grava 1" (25 mm) 58%, aire 1.5% y 0,40% de aditivo de BASF. Para este diseño de mezcla se realizó un remplazo de 30% de grava de 1" (25 mm), por grava de 5/8" (16mm) para utilizar en condiciones de bombeo exigentes.
Concreto hidráulico de 28MPa con hielo	Este concreto tiene un relación agua cementante de 0,48. Contiene, cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 30%, agua 63,64 Kg, hielo 121,36 Kg, arena 42%, grava 1" (25 mm) 58%, aire 1.5% y 0,40% de aditivo de BASF. Para este diseño de mezcla se realizó un remplazo de 30% de grava de 1" (25 mm), por grava de 5/8" (16mm) para utilizar en condiciones de bombeo exigentes.
Concreto hidráulico de 28MPa modificado	Este concreto tiene un relación agua cementante de 0,46. Contiene, cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 30%, agua 63,64 Kg, hielo 121,36 Kg, arena 42%, grava 1" (25 mm) 58%, aire 1.5%, 0,40% de aditivo de pozzolith 360R y 0.80% de aditivo pozzolith 460N. Este diseño se encuentra en proceso de revisión para establecer su aprobación.
Concreto hidráulico de 35MPa	Este concreto tiene un relación agua cementante de 0,45. Contiene, cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 30%, agua 185 Kg, arena 42%, grava 1" (25 mm) 58%, aire 1.5% y 0,40% de aditivo de BASF. Para este diseño de mezcla se realizó un ajuste incrementando a 0,42% de aditivo de BASF y 20 Kg a la cantidad de cemento con el fin de mejorar la evolución de la resistencia del concreto a los 28 días.
Concreto hidráulico de 35MPa con hielo	Este concreto tiene un relación agua cementante de 0,45. Contiene, cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 30%, agua 46,25 Kg, hielo 138,75Kg, arena 42%, grava 1" (25 mm) 58%, aire 1.5% y 0,40% de aditivo de BASF. Para este diseño de mezcla se realizó un ajuste incrementando a 0,42% de aditivo de BASF y 20 Kg a la cantidad de cemento con el fin de mejorar la evolución de la resistencia del concreto a



Tipo de Concreto	Especificaciones
	los 28 días
Concreto lanzado de 31MPa (10% humo de sílice)	Este concreto tiene un relación agua cementante de 0,43. Contiene, cemento tipo 1, humo de sílice al 10%, agua 185 Kg, arena 60%, grava 5/8" (16 mm) 40%, aire 1.5% y 0,35% de aditivo plastificante, 0,40% aditivo hiperplastificante, 5,0% aditivo acelerante de BASF.
Concreto lanzado de 31MPa (7% humo de sílice)	Este concreto tiene un relación agua cementante de 0,43. contiene, cemento tipo 1, humo de sílice al 7%, agua 185 Kg, arena 60%, grava 5/8" (16 mm) 40%, aire 1.5% y 0,35% de aditivo plastificante, 0,40% aditivo hiperplastificante, 5,0% aditivo acelerante de BASF
Concreto auto-compactante 35MPa	Este concreto tiene una relación agua cemento de 0,50. contiene cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 20%, agua 185 Kg, arena 60%, grava 5/8" (16 mm) 40%, aire 1.5% y 0,33% aditivo plastificante, 0,75 aditivo hiperplastificante de BASF.
Concreto auto-compactante 35MPa con hielo	Este concreto tiene una relación agua cemento de 0,50. contiene cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 20%, 46, 25 Kg, hielo 138,75Kg, arena 60%, grava 5/8" (16 mm) 40%, aire 1.5% y 0,33% aditivo plastificante, 0,75 aditivo hiperplastificante de BASF.
Concreto lanzado de 31MPa (20% ceniza de Termotasajero) #1	Este concreto tiene una relación agua cemento de 0,43. contiene cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 20%, agua 185 Kg, arena 57%, grava 5/8" (16 mm) 43%, aire 1.5%, 0,37% aditivo plastificante y 1.20% aditivo superplastificante de BASF. Este diseño está en proceso de revisión para aprobación.
Concreto lanzado de 31MPa (20% ceniza de Termotasajero) #10D	Este concreto tiene una relación agua cemento de 0,39. contiene cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 20%, agua 185 Kg, arena 57%, grava 5/8" (16 mm) 43%, aire 1.5%, 0,13% aditivo delvostabilizer y 1.40% aditivo superplastificante de BASF. Este diseño está en proceso de revisión para aprobación.
Concreto lanzado de 31MPa (14.45% ceniza de Termotasajero y 5.55% de humo de sílice)	Este concreto tiene una relación agua cemento de 0,39. Contiene cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 14.45%, humo de sílice al 5.55%, agua 185 Kg, arena 54%, grava 5/8" (16 mm) 46%, aire 1.5%, 0,32% aditivo delvo stabilizer y 1.50% aditivo superplastificante de BASF. Este diseño está en proceso de revisión para aprobación.
Concreto lanzado de 31MPa aditivos de BASF (12% ceniza de Termotasajero y 8.0% de humo de sílice)	Este concreto tiene una relación agua cemento de 0,36. Contiene cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 12%, humo de sílice al 8.0%, agua 185 Kg, arena 52%, grava 5/8" (16 mm) 48%, aire 1.5%, 0,42% aditivo delvo stabilizer y 1.30% aditivo superplastificante de BASF. Este diseño se encuentra en pruebas industriales con el fin de tener un histórico de resultados para analizar la estadística de la evolución de la resistencia a compresión de los cubos de lanzado.
Concreto lanzado de 31MPa aditivos de SIKA (12% ceniza de Termotasajero y 8.0% de humo de sílice )	Este concreto tiene una relación agua cemento de 0,36. Contiene cemento tipo 1, adicionado con ceniza de Termotasajero al 12%, humo de sílice al 8.0%, agua 185 Kg, arena 52%, grava 5/8" (16 mm) 48%, aire 1.5%, 0,30% aditivo Sikatard 930 y 0.70% aditivo Sikaplast de SIKA. Este diseño se encuentra en pruebas industriales con el fin de tener un histórico de resultados para analizar la estadística de la evolución de la resistencia a compresión de los cubos de lanzado.

A continuación en la Tabla No. 26, se presenta la dosificación de un metro cubico de concreto considerando la dosificación reportada en la Tabla No. 25, es de aclarar que estos diseños están en proceso de ajuste y en muchos casos se están haciendo las pruebas para corroborar su efectividad tanto en resistencia como en durabilidad.

**Tabla No. 26**

Diseño de mezcla para dosificación para un (1) metro cubico de concreto de proyecto Caso B. Fuente (INAR ASOCIADOS S.A., 2014)

CLASE DE CONCRETO	f'c			AGREGADOS (Kg)			CEMENTANTE (Kg)				AGUA (kg)	HIELO (kg)	ADITIVO				Relación A/C	Slump (plg)
	Kg/cm <sup>2</sup>	psi	MPa	1"	5/8"	Arena No. 4	cemento tipo I	Ceniza Volante	humo de sílice	Total Cementante			Tipo	%	Kg	Lt		
convencional I	211	3000	21	1044,2		760,9	259	111		370	185		POZZOLITH 360 R	0,35	1,3	1,1	0,5	3,8
											92,5							
convencional I	211	3000	21	537,9	427,8	733,7	269,5	115,5		385	102,5	90	POZZOLITH 360 R	0,35	1,3	1,1	0,5	5,9
													POZZOLITH 460 N	1,3	5	4,8		
convencional D	281	4000	28	959,4		699,1	315	135		450	70,9	135,1	POZZOLITH 360 R	0,4	1,8	1,5	0,46	4-6
													POZZOLITH 460 N	8	3,6	3,4		
convencional B	357	5000	35	880,2		642,1	364	156		520	234		POZZOLITH 360 R	0,42	2,2	1,8	0,45	4-6
											70,2							
autocompactante	357	5000	35		648,5	798,3	420	105		525	241,5		POZZOLITH 360 R	0,35	1,8	1,5	0,46	40-60cm
											60,5		181,5	POZZOLITH 460 N	1,0	5,3		
neumático	316	4496	31		616	923,7	468		52	520	224		POZZOLITH 360 R	0,35	1,8	1,5	0,43	5,3
													POZZOLITH 460 N	0,4	2,1	2,0		
													MEYCO SA 160	5,0	26			
neumático	316	4496	31		698,3	734,7	480	72	48	600	216		DELVO	0,42	2,5	2,3	0,36	5-7
													POZZOLITH 460 N	1,3	7,8	7,4		
													MEYCO SA 160	6,0	29			
neumático	316	4496	31		703,5	740,2	480	72	48	600	216		SIKATARD 930	0,3	1,8	1,6	0,36	5-7
													SIKAPLAST 326	0,7	4,2	4,0		
													SIGUNIT L54 AF MO	3-5		13-18		

#### 4.3.1.2 Relación A/C

Se determinó que la relación agua/cemento promedio, contenida en los diseños para los concretos, esta del orden de 0,44. Sin embargo como se observa de la Tabla No. 26, las relaciones A/C se han mantenido en un límite inferior a 0.50 para todos los casos.

### 4.4 Agentes Externos

#### 4.4.1 Temperatura ambiente

Para el caso B, la temperatura máxima promedio anual se determinó según el IDEAM correspondiente a la estación de la ciudad de Bucaramanga, cercana al área del Proyecto, en 27,1 °C.

Para controlar las fisuras y agrietamientos del concreto; como se evidencia en la Tabla No. 25 se ha usado medios efectivos como el hielo para disminuir las temperaturas altas.

#### 4.4.2 Humedad Relativa

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica en la que se emplazó el caso de estudio, se estableció que la humedad promedio es del orden de 83.4%. (Según datos IDEAM).

### 4.5 Aditivos empleados en la mezcla

En este momento se observa que en el proyecto se está adelantado el periodo de pruebas de aditivos buscando mejorar las resistencias de los concretos, de este modo establecer los diseños de mezcla más óptimos. Según lo previsto en las Especificaciones técnicas del proyecto se tiene:

#### 4.5.1 Agentes incorporadores de aire

Para este aditivo se exige el cumplimiento de la norma ASTM C260 (NTC 3502).

Tamaño máximo de agregado en mm	porcentaje máximo total de aire en el concreto, en volumen
19	5.0
38	4.0
76	3.5

#### **4.5.2 Aditivos reductores de agua y para control de fraguado**

Para este caso los aditivos deben cumplir con lo previsto en la norma ASTM C494 (Tipos D Y E).

#### **4.5.3 Humo de sílice**

Se está implementando en los concretos neumáticos del orden 8 % (Incluyendo ceniza en un 12%) a 10% (sin inclusión de ceniza)

#### **4.5.4 Ceniza volante de Termotasajero**

Los contenidos estuvieron del orden del 12% para concretos neumáticos, 20% para concreto autocompactante, y 30% para concretos convencionales I, B y D 40%, garantizando el control de la RAS mediante el ensayo de ASTM 1260.

Como se mencionó en el numeral 3.5.3 del presente documento, las características de la ceniza se consideran similares ya que se trata del mismo fabricante, sin embargo se estiman posibles variaciones en su composición por tratarse de tiempos distintos de producción, las cuales no se tendrán en cuenta para efectos de esta investigación.

#### **4.6 Tipo de ensayos realizados para determinar presencia de RAS**

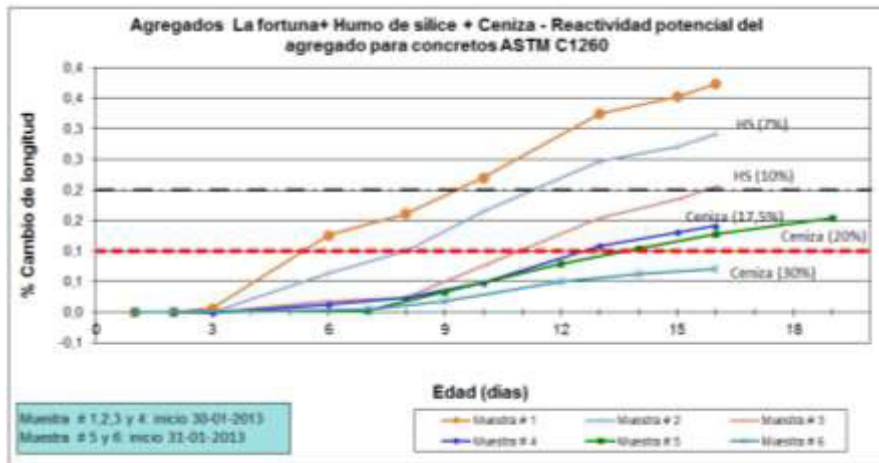
Considerando que para la fabricación de los concretos del proyecto caso B, se preveía el uso de fuentes de materiales con la presencia de minerales reactivos, dentro de las especificaciones técnicas del proyecto, se responsabilizó al Constructor de la ejecución de los estudios para determinar el grado de confiabilidad de los agregados en cuanto a RAS. Lo anterior mediante la realización del ensayo de ASTM C1260, para establecer expansión superior a 0,1 % a los 16 días se deberán utilizar adiciones minerales, como humo de sílice, polvo de roca no plástico (pasa tamiz 200 y retenido 325 hasta un 20%), puzolanas y/o Ceniza volátil clase F, para mitigar la reacción y su dosificación será de acuerdo a lo previsto en la norma ASTM C 1567.

Para todos los casos presentados a continuación, se utilizó cemento portland Tipo I combinado con las adiciones minerales y/o aditivos según el tipo de concreto.

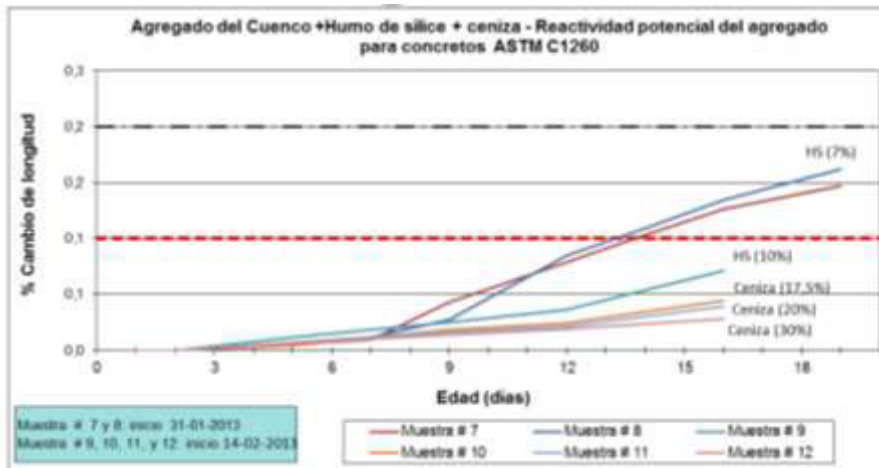
- Para efectos del análisis se incluyen en el presente documento, el caso comparativo de los ensayos efectuados para cada una de las fuentes de los agregados incluyendo diferentes proporciones de ceniza volante y humo de sílice. Los demás resultados y la discriminación de cada mezcla usada en los ensayos se pueden observar en el Anexo No. 7.

- Para todas las mezclas se utilizó 1 parte de material cementante por 2.25 partes de agregado. La granulometría se ajustó a los requerimientos de la normativa, por lo que fue necesario triturarlo y tamizarlo según la curva definida en la norma. La relación agua cementante para todas las mezclas fue de 0.47; sin embargo, para las muestras en las que se usó material suplementario fue necesario utilizar un aditivo superplastificante. La fluidez total de las muestras adicionadas se mantuvo en rangos de  $\pm 7$  la fluidez de la mezcla sin adiciones. Para cada mezcla se prepararon 3 probetas.

**Gráfica No. 23.** Curvas comparativas de expansión según la dosificación de la adición mineral propuesta para la fuente agregados denominada La fortuna.



**Gráfica No. 24.** Curvas comparativas de expansión según la dosificación de la adición mineral propuesta para la fuente agregados denominada Cuenco.



Para los dos casos se usaron las mismas dosificaciones de adiciones minerales, permitiendo establecer que la fuente de material con el agregado más reactivo se encuentra en La Fortuna.

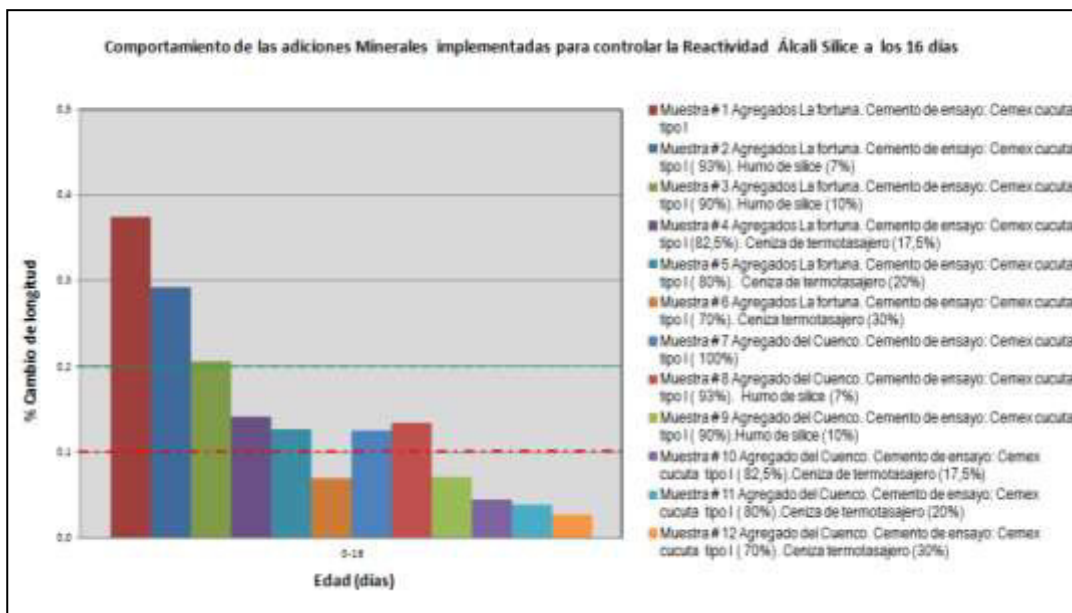
#### 4.7 Análisis de datos y resultados Caso B

- Con relación a las fuentes de materiales para conformación de concretos de obra, se observa que para el caso de la fuente denominada la Fortuna es profusa la presencia de rocas metamórficas como el Gneis y para el caso de la fuente de agregados denominada el Cuenco, se detectó no solo Gneis sino también de rocas ígneas como la Granodiorita; por lo cual se puede prever el alto contenido en cuarzo microcristalino o criptocristalino o con algún grado de cuarzo deteriorado que ponen de manifiesto, la presencia de reactividad. Pero que se puede presentar de forma más lenta, estos minerales clasifican según la literatura como agregados de “reacción lenta”; es decir los efectos si es que ocurriesen aparecerían a partir de los 10 a 20 años después de instalados los concretos.
- De la gradación granulométrica, se puede establecer que los agregados tienen tendencia al límite grueso, lo cual disminuye el riesgo de aparición de la RAS. Sin embargo se destaca que para la dosificación de mezcla de concreto, se ha incluido en todos los casos aditivos para mejorar manejabilidad y resistencia.
- Con relación a la medida de alcalinidad del cemento utilizado en obra, se determinó que se ha mantenido por debajo del rango previsto 0,6% ya que se encuentra 0,58%, lo cual se espera incida en la inhibición del efecto de la RAS. Adicionalmente considerando la curva de expansión Vs. la alcalinidad del cemento, se establece que con el resultado promedio reportado, se encontraría en el límite superior de una posible expansión. Por lo tanto sería oportuno que el grupo de ingeniería del proyecto mantuviera un continuo control y mantenga el valor por debajo del límite previsto.
- Para el caso B, al igual que lo sucedido en el caso A se controla el calor de hidratación mediante refrigeración de la mezcla antes de su colocación incluyendo adiciones minerales. La temperatura promedio es alta y por lo tanto favorece la aparición del fenómeno.
- De lo anterior se puede concluir que para el caso de estudio las relaciones A/C fueron bajas sin embargo hay riesgo de disponibilidad de agua por causa de la humedad aspecto que debe tenerse en cuenta, ya que puede intensificar el proceso de RAS, debido a que se encuentra por encima del límite máximo permitido de humedad correspondiente al 80%.
- Nuevamente se observa que el mecanismo escogido de mitigación de los efectos de reactividad; ha sido la inclusión de ceniza volante. De esta forma es posible que se disminuya la dosificación del cemento, lo que proporcionalmente disminuirá la alcalinidad. Lo cual se convierte y reitera la

efectividad y economía que puede representar esta adición comparada con las demás. Sin embargo es importante controlar si se mantiene el comportamiento adecuado de la resistencia a lo largo del tiempo, considerando el efecto que conlleva el uso de ceniza volante. En tal caso, es oportuno incluir aditivos que mejoren las resistencias dependiendo su condición. (plastificantes, superplastificantes, Acelrantes o retardantes entre otros).

A continuación se presenta la comparación de las adiciones minerales estudiadas en el proyecto del caso B.

**Gráfica No. 25.** Comparativo de comportamiento de las adiciones minerales probadas para mitigar la RAS en el caso B.



De la Gráfica No. 25, se puede observar que la ceniza Termotasajero con un porcentaje del 30% tiene una mayor efectividad a los 16 días. Manteniendo estable la reactividad. La inclusión de humo de sílice no demostró mucha eficiencia en particular con el agregado más reactivo.

- Sería oportuno que se efectuará el ensayo de la ASTM C 441, empleado para comprobar la efectividad de las adiciones minerales que controlan la expansión del concreto debido a la RAS. Ya que de efectuarse permitirá analizar, si fue efectivo el mecanismo de mitigación del concreto y la dosificación empleada en las distintas clases de concreto diseñadas.
- Los resultados de la curvas de expansión versus tiempo según las distintas adiciones minerales evaluadas, da como resultado que el mejor inhibidor del efecto de RAS sigue siendo la ceniza volante, en una proporción del 30% para

las dos fuentes de agregado. Adicionalmente se observó que para el caso de la curva del cuenco con la adición de humo de sílice 7% (muestra 8), al contrario de lo esperado no se inhibe la reactividad e incluso se supera la condición sin ninguna adición mineral o puzolanica; lo que explica la situación reportada en la literatura, que precisa que de no tener la dosificación favorable puede ocasionar un aumento de la expansión incluso peor que en condiciones naturales de mezcla. Y que su proporción es generalmente baja, nuevamente juega un papel importante el grado de finura y la superficie específica disponible. En todos los diseños de mezcla propuestos se incluyó alguna adición mineral.

- Para fuentes de agregados altamente reactivas como la Fortuna, el uso de humo de sílice, no inhibe el problema y por el contrario lo mantiene en expansiones superiores a 0.20%, lo que hace que se requiera una dosificación alta para tener el efecto esperado.



## 5. ESPECIFICACIÓN PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL DE LA RAA EN CONCRETOS A INSTALAR EN OBRAS COMO PRESAS

En este capítulo se presenta una guía rápida y practica que permitirá al gremio de la construcción (diseñadores, constructores e interventores) y sus diferentes interesados realizar una inspección al diseño de mezcla de concreto a utilizar en la obra (específicamente presas u obras que tengan superficies de concreto expuestas a procesos de humedecimiento y secado). Facilitando la determinación del potencial reactivo que tienen los agregados y las posibles alternativas para mitigar los efectos negativos que surgen del fenómeno de RAA.

Valoración preliminar:

Pasos	Variable a controlar	Resultado	
		si	no
1	Se debe evaluar la fuente de los agregados a usar en la conformación de los concretos de la obra. Se detectaron rocas y minerales reactivos según la NTC 174 y análisis químicos efectuados a los agregados.	x	
2	Se debe revisar la granulometría de los agregados seleccionados. La tendencia según la granulometría es de alto contenido de finos o límite fino. Puesto que la reacción depende de la superficie específica; ya que existirá una mayor cantidad disponible del componente reactivo, que puede reaccionar con los álcalis del cemento.	x	
3	Se debe revisar el contenido de álcalis en el cemento. El porcentaje de álcalis de cemento es superior al 0,6 %. Adicionalmente los álcalis provenientes de otras fuentes superan en el caso de ceniza el 1,15% o escoria 1,1% (ASTM C 618). Ya que se debe tener un contenido de álcalis total limitado a 3 kg/m <sup>3</sup> de concreto, de lo contrario se manifestará el fenómeno de RAS.	x	
4	Se debe evaluar la incidencia de la humedad y temperatura ambiente. Se tiene resultado de humedad superior al 80 % y de temperatura superior a 18,3°C. Estos valores afectan por un lado, en la disponibilidad de agua al interior del concreto y en la viscosidad del gel producido por el fenómeno.	x	

Si el resultado al realizar la lista de chequeo en todos los pasos es:

- a) Equivalente a cuatro “si”, es necesario controlar la granulometría, ajustar los álcalis disponibles e impermeabilizar de algún modo el concreto para evitar la entrada de agua. Ya que existe la posibilidad de que se presente el fenómeno de RAA.
- b) Solo se reporta un “si” en el paso No. 4, este por sí solo no provoca la aparición del fenómeno de RAA. Ya que es fundamental que siempre se presente el paso No.1.

- c) Adicionalmente a los 4 pasos previos, es importante realizar inspección visual del concreto, revisando si hay manifestación externa de las estructuras afectadas; por este fenómeno como son fisuras y grietas acompañadas en la mayoría de ocasiones de una coloración más oscura en el borde de las fisuras y con expulsión de una solución de color ámbar claro o marrón y secas de color blanco o claro.

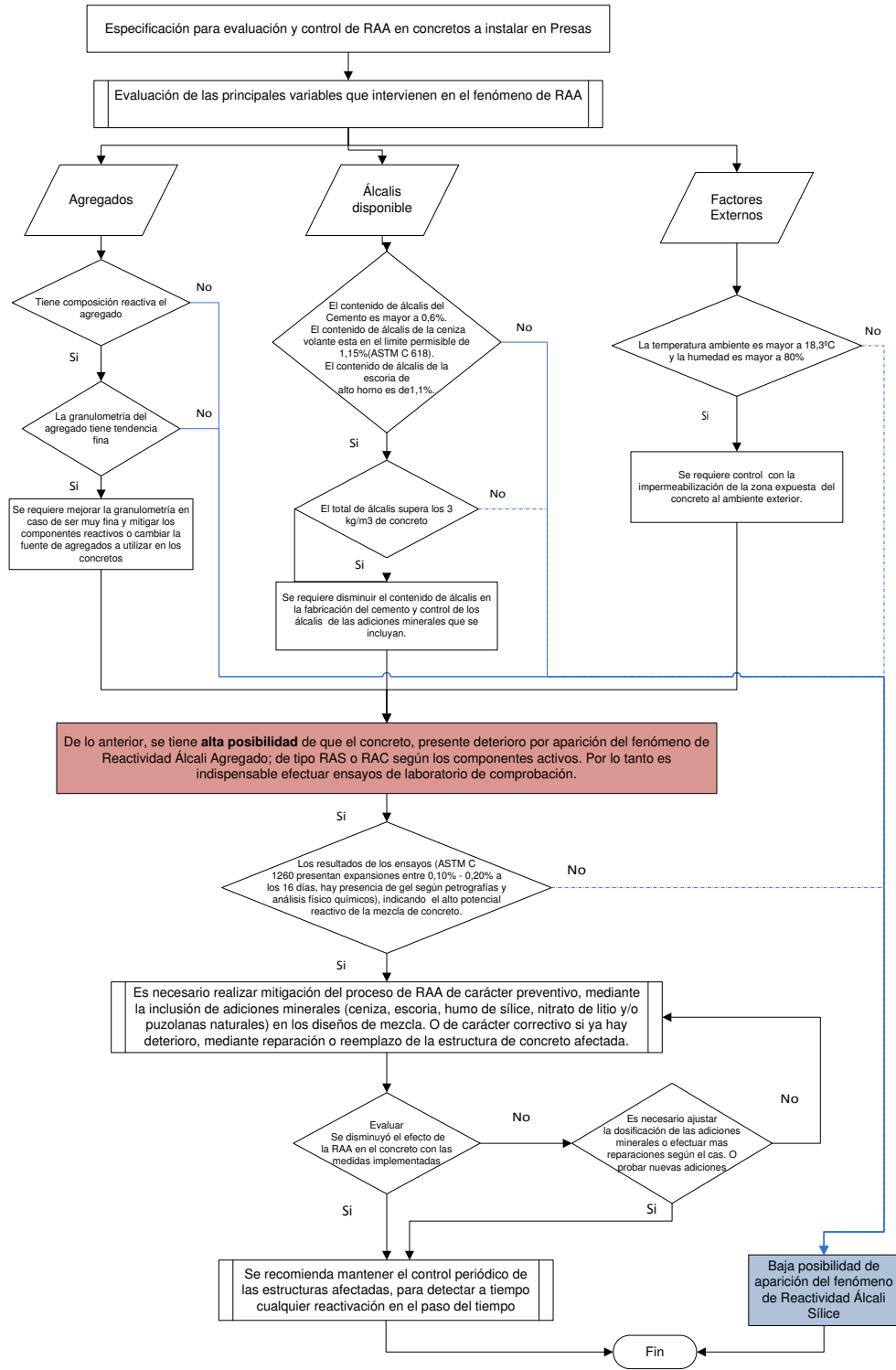
#### Determinación definitiva del fenómeno

Pasos	Variable a controlar
5	Se debe realizar ensayos de laboratorio que permitan la confirmación tanto visual como de resultados previos. Para ello se recomienda efectuar ensayos químicos de los agregados y cemento. Ensayos de petrografía y ASTM C 1260. Igualmente se recomiendan otros como ensayo con acetato de uranilo, ensayo de gel –pat, ultrasonidos, estudios de espectroscopia infrarroja y microscopia electrónica de barrido SEM. (Ver Tabla No. 9). Si los resultados indican un alto potencial RAA en mínimo tres ensayos diferentes; se considera potencialmente reactivo y es necesario tratar.
6	Luego de confirmado y evaluadas las distintas variables, es necesario incluir en los diseños de mezcla adiciones minerales que mitiguen a futuro el efecto de la RAA, ejemplo cenizas volantes, escorias de alto horno, humo de sílice, nitrato de litio entre otros. Además de controlar las relaciones A/C tratando de que sean inferiores a 0,40; incluir cementos especiales que resistan la RAA (bajo contenido de álcalis). Otras opciones es incluir adiciones químicas inhibidoras, hasta sistemas de barreras de protección ante la exposición de humedad.( ver numeral 2.7 del presente documento)
7	En caso de que no se vean resultados positivos, al efectuar las modificaciones en los diseños de mezcla; es necesario realizar nuevas dosificaciones hasta encontrar el punto máximo de efectividad garantizando la resistencia y durabilidad del concreto.
8	Se recomienda realizar evaluaciones periódicas (mediante control visual y ensayos de laboratorio), luego de fundido el concreto con las adiciones minerales óptimas. Ya que se pueden presentar modificaciones de algunas de las variables. O fallas en las medidas o métodos aplicados en caso de tratarse de reparaciones a concreto deteriorado por el proceso de RAA. (Ver Tabla No. 9 y Gráfica No. 6)

A manera de resumen, se incluye un extracto con la información más relevante para conocimiento del gremio de la construcción el cual facilita la comprensión del fenómeno, y las variables más importantes a controlar para evitar el daño ocasionado por la Reactividad Alcali Agregado.(Ver anexo 8).

A continuación se incluye un diagrama de flujo con los pasos a seguir para determinar, evaluar y controlar la RAA.

**Tabla No. 27** Diagrama de Flujo correspondiente a la especificación y control de RAA en concretos a instalar en Presas.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las variables determinantes en el proceso de aparición de RAS, como se pudo constatar para los casos de estudio pueden ser relacionadas independientemente del tipo de presa, ya que para los dos casos se precisaron: tipo de agregados usados en la conformación de los concretos (clasificación mineralógica y granulometría), tipo de cemento (grado de alcalinidad), diseño de mezcla (dosificación e inclusión de adiciones minerales, relación agua cemento), factores externos (temperatura y humedad) y por último los ensayos previstos para determinar la RAA (ASTM C1260 e inspecciones químicas). Por lo tanto si se hace una revisión de la información en etapas de diseño de las obras es posible prever los efectos y por ende su control.
2. Luego de revisado el material referente a la caracterización de los dos casos de estudio, con referencia al tema de los agregados es fundamental reconocer aquellas rocas y/o minerales que pueden ser reactivos y la rapidez con que iniciaran el proceso y la generación de gel expansiva. Puesto que en una reacción más temprana y en el caso de que el fenómeno dependiera únicamente de esta variable (minerales reactivos de los agregados), sería más costoso y riesgoso el proyecto. Ya que en poco tiempo al presentarse el fenómeno de RAS, sería necesario demoler y reconstruir los daños derivados y la vida útil de la presa tendría serias afectaciones; dado que la impermeabilidad que ofrece el concreto a su núcleo sería vulnerado. Para caso contrario en que el efecto se presente más lentamente, e igualmente se dependiera de los minerales reactivos de los agregados; es posible que incluso se logre alcanzar, la vida útil prevista y hacer los ajustes que se requieran ya que el impacto no es tan severo por lo lento del proceso.
3. Con relación a las fuentes de agregados potencialmente reactivos en Colombia, hacen falta estudios más actualizados que permitan una zonificación geográfica de los sitios, ya que los presentados en la NTC 174 (Quinta actualización- Anexo A) corresponden a un mapa de INGEOMINAS de 1983, lo anterior entendiendo que la causa particular de la presencia del fenómeno está determinada para algunas clases de rocas cuyos componentes mezclados con el álcalis del cemento activan el fenómeno. Se considera apropiado actualizar el mapa con información más específica y se promueva el conocimiento entre los interesados del sector de la construcción. De otra parte, es importante conocer la calidad y tipo de agregados en particular cuando se hace reemplazos por otros materiales como el caso vidrios sintéticos ya que pueden activar el fenómeno con el paso del tiempo.

4. El efecto de una granulometría con exceso de finos puede agravar el problema de reactividad, teniendo en cuenta que la expansión del concreto es mayor cuanto menor es el tamaño de las partículas al tener más superficie específica para actuar, por lo tanto es importante controlar que los tamaños mínimos del agregado no estén en el rango de 1 a 5 mm.
5. Es oportuno que como medio de inspección y verificación de la reactividad de los agregados no se use únicamente la determinación del potencial con la implementación de la ASTM C 1260-07. Debido a que se da la situación de resultados denominados como falsos negativos es decir en el laboratorio los resultados arrojan negativa la expansión por RAA, pasado un tiempo de construidas las obras se activa el fenómeno. O falsos Positivos es decir que en laboratorio el resultado es positiva la expansión por RAA y pasado el tiempo de construidas las estructuras, no se activan y jamás presentan daño. Por este motivo es apropiado realizar dos ensayos adicionales, de verificación como: el método químico viable en nuestro país y petrografías.
  - a. En caso de tener dificultad para constatar a los 16 días el potencial reactivo al realizar el ensayo ASTM C 1260-07, se recomienda llevar el ensayo a un tiempo superior a lo fijado, llevando las muestras a por lo menos 30 días, ya que se da lugar a definir con mayor claridad el límite de expansión, este nuevo límite debe ser superior al 0,10%, sin embargo aún no ha sido fijado en Colombia este nuevo límite. En Australia a los 22 días se mantiene el límite 0,10%.(ver Tabla No. 3).
6. En los casos de estudio fue probable mitigar los efectos de la reactividad y se identificó mediante la disminución de la expansión en el los ensayos según la ASTM C 1260 reportados, donde como mejor opción se registra el uso de ceniza volante en los distintos diseños de mezclas, no solo por la facilidad en su uso, sus costos (disminuye el uso de cemento causado por el reemplazo), sino también su efectividad. Pero es importante que esta dosificación no sea excedida de los contrario se afectarían las resistencias o causarían otras patologías de concreto que en nada beneficiarían al proyecto. Por lo tanto la recomendación es que este tipo de evaluaciones y decisiones, se haga con expertos en los que se analicen todos los efectos inmediatos y posteriores que afecten la durabilidad y resistencia del concreto. Igualmente es apropiado revisar otras opciones de mitigación como el uso del metacaolín (MK), que si bien no se estudio al detalle en la presente investigación; se está posicionando como una alternativa bastante efectiva.

7. Es importante conocer el entorno y tener claras las variables externas que no solo se limitan a humedad y temperatura sino también a fuentes externas de agua que hacen activar el fenómeno de RAA. Controlar y cuantificar los procesos de humedecimiento y secado que son factores altamente negativos y agravan en muchos casos el deterioro del concreto dañando incluso la armadura.
8. Cuando un concreto padece de RAA, se tiende a pensar que al estar sumergido en agua no será reactivo, la realidad es que el efecto si se mantiene activo y la expansión se da en la medida en que se tenga disponibilidad de agua permeando al interior de la pasta (minerales reactivos y álcalis disponibles). En consecuencia lo mejor es hacer la mezcla lo más impermeable posible. Y contrario a lo esperado es posible que cuando se tiene un concreto poroso tarde más tiempo en aparecer el agrietamiento y fisuración causado por la RAA, ya que el gel se desplaza más fácilmente a los poros rellenando los espacios vacíos. (Lo anterior como consecuencia de las altas temperaturas que hacen que se disminuya la viscosidad del gel).
9. Se recomienda en los proyectos, hacer la tipificación de obras en riesgo de padecer RAA, ya que permite determinar los sitios en que el control es más relevante y su prevención o tratamiento. Ejemplo tanques, piletas, pilares de puentes, aliviaderos, canales, acueductos, plantas de tratamiento de agua potable o agua residual y todas las estructuras sumergidas o en contacto permanente o periódico con agua. Lo anterior entendiendo que la vulnerabilidad más alta, está dada cuanto más expuesta está a humedad relativa o agua en contacto con los agregados reactivos y álcalis. Si alguna de las variables no esta es posible que no se presente esta patología.
10. Con relación a la especificación, para la evaluación y control de la RAA en concretos a instalar en obras como presas. La información allí descrita así como el diagrama de flujo a criterio de la autora del presente documento, pueden servir como guía de análisis en otro tipo de proyectos que puedan presentar el mismo problema. Lo anterior fundamentado en que la mayoría de las variables que se analizan son de orden general en todo tipo de mezcla de concreto.
  - a. Así mismo esta guía permite de forma preventiva analizar las condiciones básicas a las que estará expuesto el concreto a construir en la obra; que pueden agravar el fenómeno de RAA, su posible detección, mitigación y tratamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- 
- <sup>1</sup> O. Hernández–Castañeda y C.J. Mendoza–Escobedo. (2005). “Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico”. México. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM e Instituto de Ingeniería, UNAM.
- <sup>2</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 175 (1996-11-27) Ingeniería civil y arquitectura. Método químico para determinar la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados.
- <sup>3</sup> ASTM C1260, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method) is often used as a screening test.
- <sup>4</sup> Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff and William C. Panarese 2003, Design and control of concrete mixtures (14a Ed.) Skokie, Illinois 60077-1083 USA – PCA (Portland Cement Association).
- <sup>5</sup> Instituto Argentino de Normalización. Norma IRAM 1674 - Agregados. Determinación de la Reactividad Alcalina Potencial. Método Acelerado de la Barra de Mortero. Argentina, 1997.
- <sup>6</sup> Segarra Foradada Judit, 2005, Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en hormigón, Universitat Politècnica de Catalunya, Enginyeria de Camins, Canals i Ports, cap. 2.
- <sup>7</sup> Cavalcante-da Silva, C.F.1, Barreto-Monteiro, E.C.2, Duarte-Gusmão, A2. Análisis de métodos de prevención de la reacción álcali-agregado: Análisis petrográfico y método acelerado para barras de mortero.
- <sup>8</sup> Enrique Pasquel. RAA el VIH del concreto, (2009). Centro de Investigación Tecnológica del Cemento y el Concreto CITEDEC, Lima, Perú. Sección Laboratorio del concreto.
- <sup>9</sup> Dent Glasser & Kataoka, 1981, The chemistry of alkali-aggregate reaction. Cement and Concrete Research, 11: 1-9. doi:10.1016/0008-8846(81)90003-X.
- <sup>10</sup> Fournier & Béru-bé, 2000, Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications. Journal of Civil Engineering, 27: 167-191. doi:10.1139/cjce-27-2-167
- <sup>11</sup> Menéndez, E & Soriano, J.(2007). Procesos expansivos del hormigón: Ensayos Agregado – Álcali, ataque por sulfates hielo deshielo. Sistemas de prevención y actuaciones, Curso de Estudios mayores de la construcción, 17 Ed., instituto Eduardo Torroja, CSIC; Madrid.

---

<sup>12</sup> Concrete society, (1999). Alkali- Silica Reaction. Minimizing the risk to concrete. Guidance notes and model specification clauses. Technical Report No. 30.

<sup>13</sup> CNEGP. Boletín 79 (Monografía), (1991), Reacción Alkali Agregado en presas de hormigón. Ideas Generales y recomendaciones.

### BIBLIOGRAFIA CITADA

Alaejos, M., & Bermúdez, M. (2003). *Durabilidad y procesos de degradación del hormigón de presas, estudio bibliográfico*. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. 28026 Madrid: Ministerio de Fomento - CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de obras públicas).

Alexander, M., & Mindess, S. (2010). *Modern Concrete Technology, Aggregates in Concrete*. (C. Press, Ed.) USA : Taylor & Francis.

amb Embalse de Bucaramanga, INAR ASOCIADOS S.A, CONALVIAS CONSTRUCCIONES, INTEGRAL INGENIEROS CONSTRUCTORES. (2012). *Memorando Técnico 06- Presa*. Bucaramanga.

Asociación Colombiana de productores de concreto- ASOCRETO. (2010). *Tecnología del Concreto, materiales, propiedades y diseño de mezclas* (Vol. 1). Bogotá: ASOCRETO.

Cavalcante-da Silva, C., Barreto-Monteiro, E., & Duarte-Gusmão, A. (2011). Análisis de métodos de prevención de la RAA. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 15-1, 17.

Concrete Society . (1999). *Alkali - Silica Reaction. Minimising the risk to concrete. Guidance notes and Model specification Clauses. Technical Report No.30* . Concrete Society .

Concrete Society. (1987). Alkali - Silica Reaction, Minimising the risk of damage to concrete. *Concrete Society Technical Report No. 30*, 72.

Consortio Desarrollo Guajira e INCODER. (2011). *Informe Final de Actividades ( CDG- 055-IFI-01-2011-00)*. Bogotá D. C.: Consorcio Desarrollo Guajira.

Farny, J. A., & Kerkhoff, B. (s.f.). Concrete Technology, Diagnosis and control of Alkali- Aggregate Reactions in Concrete. *ACPA, NRMCA, PCA*, 26.

Figueirôa, J. P., & Andrade, T. (2007). *O ataque da reação álcali-agregado sobre as estruturas de concreto*. Recife, Brasil.: 1ª ed., Editora Universitária UFPE.

Glasser, D. (1981). Some Observations on the rapid chemical test for potentially reactive aggregate. *cement and concrete research*, 191.



- 
- Hernández–Castañeda, O., & Mendoza–Escobedo, C. J. (1 de Agosto de 2005). *Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico*. (F. d. División de Estudios de Posgrado, Ed.) Recuperado el 14 de Octubre de 2013, de [revistait@yahoo.com.mx](mailto:revistait@yahoo.com.mx): [http://scielo.unam.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432006000100005&lng=pt&nrm=iso&userID=-2](http://scielo.unam.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432006000100005&lng=pt&nrm=iso&userID=-2)
- Hobbs, D. W. (1988). *Alkali-silica reaction in concrete*. (Telford, Ed.) Universidad de Michigan.
- ICOLD, Committee on Dam Ageing. (1994). *Ageing of dams and appurtenant work: Review and recommendations*. .
- INAR ASOCIADOS S.A. (2014). *Informe Mensual de Actividades de Interventoría IN-097-IMA-033-2014-00*. Bucaramanga.
- Kosmatka, P. C., & Farny, J. A. (1997). *Diagnosis and control of alkali-aggregate reactions in concrete*. IS413: Portland Cement Association.
- Manissero, C., FMC Corporation, S. a., Lithium Division, R. S., & Lithium Technology Manager, T. E. (2006). Economics of Lithium Technology for ASR Control vs. Alternatives. (N. (. Association), Ed.) *CONCRETE in focus*, 51.
- Mehta, P. K. (1986). *Concrete: structure, properties, and materials*. Universidad de Michigan: Prentice-Hall.
- Pedneault, A. (1996). *Development of testing and analytical procedures for the evaluation of the residual potential of reaction, expansion, and deterioration of concrete affected by ASR*. Québec : Laval Univeristy.
- Ratnam, M., & Mahure, N. V. (2008). *Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. New Delhi: Central Soil & Materials Research Station.
- Segarra Foradada, J. (2005). Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en hormigón. En J. S. Foradada. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.
- Shon, C. S. (2008). *Performance-Based approach to evaluate Alkali- silica reaction potencial of aggregate and concrete using dilatometer method*. texas: Texas A&M University.
- Tanner, D. T. (1992). *"The Use of Monitoring and Finite Element Analysis in Evaluating Remedial Measures at TVA's Hiwassee Dam*.
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención. (I. T. Domingo, Ed.) *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72-114.

---

Unión Temporal Guajira . (2008-2010). Datos de resultados de ensayos ASTM 1260. Guajira .

Union Temporal Guajira- Gomez Cajiao y Asociados S.A. (2004). *Informe Principal - Tomo 4 - Geología, Geomorfología y Geotecnia, Fuentes de Materiales.*

University de Texas International Center of Research Aggregates. (s.f.). “*Research report - 301-1f alkali-silica reaction in portland cement concrete: testing methods and mitigation alternatives*”.

Veronelli, D. J. (1978). *Durabilidad de los hormigones: reacción áridoalcalis.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Woods, H. (1968). *Durability of Concrete Construction. Monograph No.4.* Detroid, Mich. : American Concrete Institute.

### **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

- “Handbook for identification of alkali-silica reactivity in airfield pavement” Texas Transportation Institute - Texas A&M University
- Federal High Association USA FHWA-RD-03-047 July 2003 “Guidelines for The Use of Lithium to Mitigate Or Prevent Alkali-Silica Reaction”
- Concrete International ACI “Mitigating Alkali-Silica Reaction when Using High-Alkali Cements”. Kerenidis, Hooton.
- INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN. NORMA IRAM 1674 - Agregados. Determinación de la Reactividad Alcalina Potencial. Método Acelerado de la Barra de Mortero. Argentina, 1997.
- The use of lithium to prevent or mitigate alkali- silica reaction in concrete paraments and structures.
- Evaluación de mezclas binarias y ternarias de metakaolin y cenizas volantes clase C. para mitigación de la reacción álcali – sílice en concreto.
- Mitigating Alkali Silica Reaction in Concrete with Supplementary Cementing Materials When Used in Conjunction with Portland Cements Having Alkali Contents in Excess of 1.0%, By Kerri Kerenidis, Protland Cemente Association (PCA), PCA R&D Serial No. 3023.

- 
- KUMAR METHA, concrete technology past, present and future. Victoria Wiezorek, 1994. 105-124.
  - KUMAR METHA Y MONTEIRO P. Concrete structure properties and materials, Prentice Hall. 1993. Pag 154-159.
  - MALHOTRA V.M. Advances in concrete technology, ACi 1995. Pag 229-235.
  - MALIER, High Performance concrete. E&FN Spon. 1992. Pag 225-232
  - MINDESS S AND YOUNG J., Concrete, pretince – Hall. 1981 pag. 14
  - SANJUÁN M., Y CASTRO P. (2001). “Acción de los agentes Químicos y físicos sobre el Concreto” Instituto Mexicano del Cemento y del concreto, A.C., México, D.F.

#### Páginas Web

- [http://scielo.unam.mx/scielo.php?pid=S140577432006000100005&script=sci\\_arttext](http://scielo.unam.mx/scielo.php?pid=S140577432006000100005&script=sci_arttext)
- <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=40470105>

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1. INVENTARIO DE REPRESAS DE COLOMBIA**

DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA					FUENTES
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm3)	
1	Embalse el Juncal	Huila	-	-	-	-	-	2,19	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
2	Embalse los Tunjos	Cundinamarca	-	-	-	-	-	2,4	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
3	Embalse de Chisacá	Cundinamarca	1951	Presa de enrocado con núcleo central	40,5	-	302	6,7	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
4	Hidroeléctrica Rio Grande I	Antioquia	1951	Presa de gravedad en tierra	27	-	-	0,5	<a href="http://centraleshidroelectricasdeantioquia.blogspot.com/2010/11/centrales-hidroelectricas-de-antioquia_08.html">http://centraleshidroelectricasdeantioquia.blogspot.com/2010/11/centrales-hidroelectricas-de-antioquia_08.html</a>
5	Embalse del Sisga	Cundinamarca	1951	Presa de gravedad en hormigón	52	-	-	94,3	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
6	Represa Miraflores	Antioquia	1951	-	-	-	-	136	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S04.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S04.htm</a>
7	Embalse del Muña	Cundinamarca	1951	-	-	-	-	41	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>

DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA					FUENTES
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm3)	
8	Embalse del Neusa	Cundinamarca	1952	Presa de gravedad	46,5	-	350	101	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
9	Embalse Piedras Blancas	Antioquia	1958	-	27	-	-	1,19	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
10	Central hidroeléctrica de Troneras	Antioquia	1962	Terraplén de materiales compactados y protegida aguas arriba por enrocado con capa filtrante y aguas abajo por un engramado	40	-	-	29	<a href="http://www.bdigital.unal.edu.co/921/1/71361770_2006.pdf">http://www.bdigital.unal.edu.co/921/1/71361770_2006.pdf</a>
11	Embalse de Tominé- Presa de Sesquilé	Cundinamarca	1962	Presa de terraplén	42	-	360	690	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a> y <a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
12	Embalse Gachaneque	Boyacá	1964	-	-	-	-	4,7	-
13	Embalse del Guájaro	Atlántico	1965	Presa en tierra	-	-	-	230	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S04.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S04.htm</a>

DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA					FUENTES
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm3)	
14	Embalse Calima	Valle del Cauca	1966	Escollera con núcleo impermeable	115	10	240	435	<a href="http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf">http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf</a>
15	Embalse de Hidroprado represa Darío Echandía	Tolima	1973	Presa en forma de tronco de pirámide con núcleo de arcilla	92	-	240	506,84	<a href="http://www.electrolima.com/contratacion/cuaderno_informacion_hidroelectrica_prado.pdf">http://www.electrolima.com/contratacion/cuaderno_informacion_hidroelectrica_prado.pdf</a>
16	Embalse la Fé	Antioquia	1973	-	34	-	-	14,6	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
17	Represa de de Anchicayá	Valle del Cauca	1974	Enrocado con pantalla de hormigón impermeable	140	-	300	30	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
18	Represa de Chivor (La Esmeralda)	Boyacá	1975	Presa de enrocado con núcleo central	237	-	310	634	<a href="http://tecun.com/emdt/090924/Chivor.pdf">http://tecun.com/emdt/090924/Chivor.pdf</a> ∨ <a href="http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf">http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf</a>
19	Hidroeléctrica de Jaguas- Presa Guillermo Cano	Antioquia	1978	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	63	-	580	184,2	<a href="http://www.isagen.com.co/comunicados/Central_jaguas_2013.pdf">http://www.isagen.com.co/comunicados/Central_jaguas_2013.pdf</a>



DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA					FUENTES
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm3)	
20	Presa Golillas - Proyecto Chingaza	Cundinamarca	1978	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	127	-	110	252	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a>
21	Embalse el Peñol- Guatapé	Antioquia	1978	-	-	-	-	1169	Tabla 3.17. Embalses artificiales más grandes en Colombia. <a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
22	Embalse del Chuza	Cundinamarca	1983	-	-	-	-	202	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
23	Represa La Salvajina	Cauca	1985	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	146	-	400	753	<a href="http://www.epsa.com.co/es-es/nosotros/nuestrascentrales/salvajina.aspx">http://www.epsa.com.co/es-es/nosotros/nuestrascentrales/salvajina.aspx</a>
24	Central Hidroeléctrica de Betania	Huila	1987	Lleno homogéneo compactado	95	12	610	1042	<a href="http://www.monografias.com/trabajos7/betania/betania.shtml#rb">http://www.monografias.com/trabajos7/betania/betania.shtml#rb</a>
25	Hidroeléctrica San Carlos - Presa Puchiná	Antioquia	1987	Presa de gravedad en tierra	70	-	800	50	<a href="http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/centraleshidroelectricasdecol/centrales_hidroelectricas_de_col.html">http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/centraleshidroelectricasdecol/centrales_hidroelectricas_de_col.html</a>
26	Embalse de las playas	Antioquia	1987	-	65	12	450	56,13	<a href="http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/centraleshidroelectricasdecol/centrales_hidroelectricas_de_col.html">http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/centraleshidroelectricasdecol/centrales_hidroelectricas_de_col.html</a> y <a href="http://centraleshidroelectricasdeantioquia.blogspot.com/2010/11/centrales-">http://centraleshidroelectricasdeantioquia.blogspot.com/2010/11/centrales-</a>


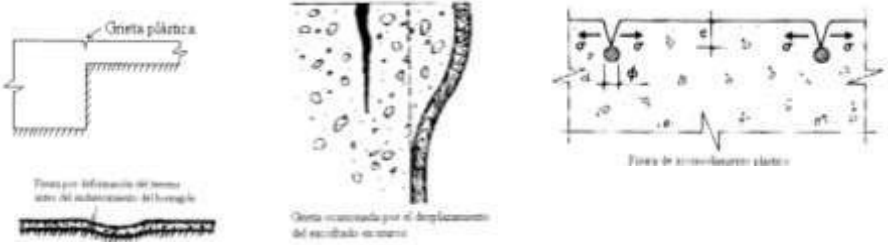
DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA					FUENTES
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm3)	
									<a href="#">hidroelectricas-de-antioquia_08.html</a>
27	Embalse de San Lorenzo	Antioquia	1987	-	63	-	-	208	<a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
28	Central hidroeléctrica Calderas	Antioquia	1988	Presa de gravedad en concreto	25	-	-	0,33	<a href="http://www.isagen.com.co/comunicados/Central_calderas_2013.pdf">http://www.isagen.com.co/comunicados/Central_calderas_2013.pdf</a>
29	Represa de Rio grande II	Antioquia	1988	Lleno homogéneo compactado	65	-	-	110	<a href="http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf">http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf</a>
30	Presa la Copa	Boyacá	1990	presa de enrocado con núcleo central	34	-	180	70	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a> y <a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
31	Proyecto Guavio- Presa Alberto Lleras Camargo	Cundinamarca	1992	presa de enrocado con núcleo central	243	-	390	950	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a>
32	Presa El Hato - Ubaté	Cundinamarca	1993	presa de enrocado con núcleo central	35	-	47	14	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a>

DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA					FUENTES
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm3)	
33	Proyecto San Rafael - La Calera	Cundinamarca	1996	Presa de terraplén	59,5	7	620	70	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a>
34	Proyecto La Regadera II	Cundinamarca	1997	presa de enrocado con núcleo central	37	-	358	3,8	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a>
35	Embalse la Playa	Cundinamarca	1999	presa de enrocado con núcleo central	90	-	350	127	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a>
36	Proyecto multipropósito Urrá I	Córdoba	2000	Conformada por un terraplén zonificado con núcleo central de gravas arcillosas y espaldones de gravas limpias.	73	12	660	1.362	<a href="http://www.urra.com.co/documentos/GUIA%20VISITA_CENTRAL.pdf">http://www.urra.com.co/documentos/GUIA%20VISITA_CENTRAL.pdf</a>
37	Presa Porce II	Antioquia	2000	Presa de gravedad en concreto	118	10	470	183	<a href="http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/historia/hidroantioquia/paginas/porce%20II.htm">http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/historia/hidroantioquia/paginas/porce%20II.htm</a> y <a href="http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/porcell/index.htm">http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/porcell/index.htm</a>
38	Presa de Miel I	Caldas	2002	Concreto compactado con rodillo	188	-	340	444,98	<a href="http://www.isagen.com.co/comunicados/central_mieII_2013.pdf">http://www.isagen.com.co/comunicados/central_mieII_2013.pdf</a>

DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA					FUENTES
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm3)	
39	El pescador	Valle del Cauca	2003	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	42,5	-	200	17,7	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a> y <a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>
40	Presa Porce III	Antioquia	2010	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	151	8	400	127	<a href="http://www.epm.com.co/site/Home/Institucional/Nuestrasplantas/Energ%C3%ADa/Centraleshidroel%C3%A9ctricas.aspx">http://www.epm.com.co/site/Home/Institucional/Nuestrasplantas/Energ%C3%ADa/Centraleshidroel%C3%A9ctricas.aspx</a>
41	Presa de Guarinó	Caldas	2010	Concreto compactado con rodillo	7	-	37	-	<a href="http://www.isagen.com.co/comunicados/Plegable_guarino09.pdf">http://www.isagen.com.co/comunicados/Plegable_guarino09.pdf</a>
42	Represa Río Ranchería	Guajira	2010	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	110	8	378	194,87	INFORME FINAL DE ACTIVIDADES DE INTERVENTORÍA CONTRATO 139-01, CDG-055-IFI-01-2011-00, INAR ASOCIADOS SA.
43	Proyecto Hidroeléctrico de Sogamoso	Santander	2013	Presa en gravas con cara de concreto (CFRD)	190	-	345	4800	<a href="http://www.santandercompetitivo.org/proyectos-11-m/38-hidrosogamoso.htm">http://www.santandercompetitivo.org/proyectos-11-m/38-hidrosogamoso.htm</a>
44	Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo	Huila	2014	Presa en gravas con cara de concreto (CFRD)	151	-	632	1824	<a href="http://www.minambiente.gov.co/documentos/2_descripcion_proyecto.pdf">http://www.minambiente.gov.co/documentos/2_descripcion_proyecto.pdf</a>
45	Embalse de Bucaramanga	Santander	2016	Enrocado con cara de concreto (CFRD)	103	10	270	14,6	ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL PROYECTO DE REGULACIÓN DEL RÍO TONA, Memorando Técnico 06 - Presa. I-2128-MT-06-R3- CONALVIAS-INTEGRAL

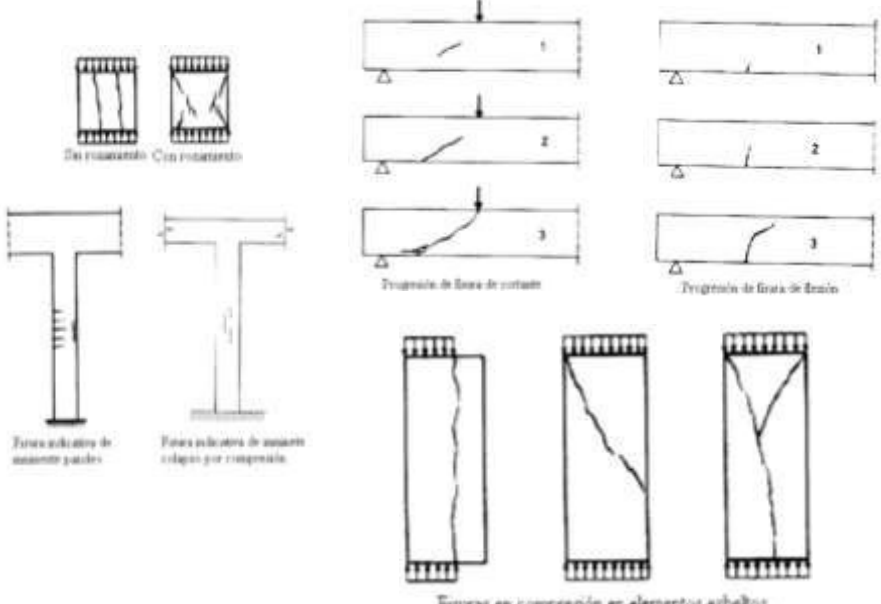
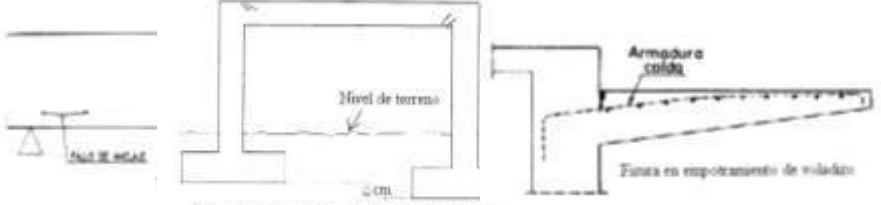
DATOS BASICOS				CARACTERISTICAS DE LA PRESA					FUENTES
ÍTEM	NOMBRE	UBICACIÓN	FECHA DE CONSTRUIDA	TIPO DE PRESA	ALTURA (m)	ANCHO CRESTA (m)	LONGITUD DE CRESTA (m)	VOLUMEN UTIL DEL EMBALSE (Mm3)	
46	Proyecto Hidroeléctrico Ituango	Antioquia	2018	Presa de enrocado con núcleo tierra impermeable (ECD)	225	-	-	2720	<a href="http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf">http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf</a>
47	Presa de Miel II	Caldas	Factibilidad	Concreto compactado con rodillo	141	-	238	-	<a href="http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf">http://www.ingetec.com.co/brochures/BR_OCHURE-PRESAS-ESPANOL.pdf</a> y <a href="http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm">http://www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm</a>

**ANEXO 2. OTRAS CAUSAS DE AGRIETAMIENTOS Y FISURAS.  
fuente: (Toirac Corral, 2004).**

Clasificación de fisuras según su origen	Causas	Detalle
Fisuras originadas en el estado plástico.	Fisuras originadas por la contracción plástica: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retracción hidráulica durante el fraguado (contracción plástica).</li> <li>• Exceso de vibración. Exceso de llana.</li> </ul>	 <p>Fisuras de contracción plástica</p>
	Fisuras originadas por asentamiento plástico: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acomodamiento.</li> <li>• Poco recubrimiento y excesivos diámetros en el acero.</li> <li>• Cambios de consistencias en vaciados continuos.</li> <li>• Desplazamiento del encofrado.</li> <li>• Deformación del terreno de sustentación.</li> </ul>	 <p>Grietas plásticas</p> <p>Fisuras por deformación del terreno antes del asentamiento del concreto</p> <p>Grietas ocasionadas por el desplazamiento del encofrado durante el vaciado</p> <p>Fisuras de asentamiento plástico</p>

Clasificación de fisuras según su origen	Causas	Detalle
<p>Fisuración originada en el estado endurecido</p>	<p>Fisuras originadas por movimientos espontáneos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retracción hidráulica (contracción por secado),</li> <li>• Contracción por carbonatación,</li> <li>• Retracción térmica,</li> <li>• Entumecimientos por dilatación térmica,</li> <li>• Entumecimiento por oxidación de acero de refuerzo,</li> <li>• Entumecimiento por exceso de expansivos de cemento</li> <li>• reacción álcali agregados.</li> </ul>	<p>Fisuras de contracción por secado en losas trabajadas en una dirección.</p> <p>Fisuras de contracción por secado en vigas.</p> <p>Fisuras de contracción por secado.</p> <p><math>T_1 &gt; T_2</math></p> <p><math>T_1</math> = temperatura de la cara superior de la losa  <math>T_2</math> = temperatura de la cara inferior de la losa.</p> <p>peso propio, carga de tráfico, GRIETA</p> <p>Fisuras causadas por la dilatación térmica.</p> <p><math>T_1 &lt; T_2</math></p> <p><math>T_1</math> = temperatura de la cara superior de la losa  <math>T_2</math> = temperatura de la cara inferior de la losa.</p> <p>peso propio, carga de tráfico, GRIETA</p> <p>Fisuras por corrosión de armaduras.</p>



Clasificación de fisuras según su origen	Causas	Detalle
	<p>Fisuras producidas por cargas que originan esfuerzos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compresión.</li> <li>• Tracción.</li> <li>• Flexión.</li> <li>• Cortante.</li> <li>• Torsión.</li> </ul>	 <p> <i>Del rotatorio</i>    <i>Con rotatorio</i>  <i>Progresión de fisura de corte</i>    <i>Progresión de fisura de tracción</i>  <i>Fisuras debidas de asentamiento puntal</i>    <i>Fisuras debidas de asentamiento colgado por compresión</i>  <i>Fisuras en contracción en elementos esbelta</i> </p>
	<p>Otros tipos de fisuras:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallo de adherencia-anclaje.</li> <li>• Concentración de tensiones.</li> <li>• Desplazamientos de armaduras principales.</li> <li>• Asentamientos diferenciales en fundaciones.</li> </ul>	 <p> <i>Nivel de terreno</i>  <i>Armadura colada</i>  <i>Fisura en empotramiento de voladizo</i>  <i>Fisuras originadas por asentamiento diferencial</i> </p>

## **ANEXO 3. CENIZA IMPLEMENTADA CASO A**

**ANALISIS CUANTITATIVO DE LA CENIZA TERMOTASAJERO CASO A**  
RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X -  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE BOGOTÁ

Fuente: Unión Temporal Guajira

Compuesto (%)	# 16	# 20	# 26	# 36	# 38	# 41	# 45	# 49	PROMEDIO AÑO 2008
	Fecha de llegada de la ceniza al proyecto								
	24/07/2008	16/08/2008	27/08/2008	27/09/2008	29/09/2008	08/10/2008	21/10/2008	13/12/2008	
SiO <sub>2</sub>	45,177	53,164	52,648	52,959	49,463	54,052	51,486	64,648	52,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,655	27,088	26,899	27,795	26,457	28,130	27,265	19,866	26,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,052	10,311	9,940	10,202	10,952	10,169	10,860	4,964	9,06
CaO	5,170	0,994	0,792	0,763	0,733	0,803	0,862	1,457	1,45
Na <sub>2</sub> O	2,273	0,316	0,302	0,360	0,398	0,300	0,301	0,236	0,56
K <sub>2</sub> O	1,481	1,287	1,201	1,340	1,401	1,270	1,222	0,826	1,25
MgO	1,389	0,646	0,617	0,650	0,682	0,655	0,630	0,459	0,72
TiO <sub>2</sub>	1,236	1,108	1,107	1,083	1,027	1,098	1,068	0,877	1,08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,060	0,139	0,134	0,135	0,118	0,114	0,115	0,113	0,12
MnO	0,030	0,027	0,021	0,030	0,023	0,027	0,030	0,018	0,03
S	0,560	0,643	0,650	0,962	1,694	0,546	0,729	0,339	0,77
Ba	0,235	0,078	0,085	0,098	0,089	0,101	0,079	0,063	0,10
V	0,061	0,051	0,053	0,060	0,061	0,060	0,060	0,041	0,06
Cr	0,042	0,020	0,027	0,019	0,026	0,021	0,018	0,024	0,02
Zn	0,037	0,029	0,027	0,025	0,026	0,023	0,021	0,020	0,03
Sr	0,034	0,018	0,019	0,015	0,018	0,017	0,017	0,017	0,02
Cu	0,032	0,021	0,019	0,023	0,021	0,018	0,024	0,013	0,02
Ni	0,020	0,010	0,003	0,010	0,002	0,010	0,010	0,008	0,01
Ge	0,017	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,01
Zr	0,013	0,025	0,023	0,024	0,024	0,022	0,022	0,019	0,02
Rb	0,009	0,007	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	0,006	0,01
As	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007		0,003	0,01
Y	0,005	0,009	0,010	0,011	0,009	0,009	0,010	0,006	0,01
Ga	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,00
Se	-	0,003	0,010	0,004	0,003	0,004	0,005	0,002	0,00
Mo	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	0,00
Pb	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	0,00
Co	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	0,00
Ce	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	0,00
Nb	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	--*	0,00
SO <sub>3</sub> (Ver Nota)	1,40	1,61	1,62	2,40	4,23	1,36	1,82	0,85	1,91
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ver Nota)	80,88	90,56	89,49	90,96	86,87	92,35	89,61	89,48	88,78
SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,47	1,96	1,96	1,91	1,87	1,92	1,89	3,25	2,03
Álcalis Na <sub>2</sub> O <sub>equiv</sub> (ver Nota)	3,25	1,16	1,09	1,24	1,32	1,14	1,11	0,78	1,39
Índice puzolánico (1)	12,3	55,2	63,5	64,4	61,4	63,3	60,1	46,7	53,37
CaO <sub>equiv</sub>	11,21	4,14	3,84	4,55	5,92	3,76	4,08	3,44	5,12
SiO <sub>2</sub> equiv	65,13	73,00	72,23	73,17	69,16	74,44	71,63	78,22	72,12
CaO <sub>equiv a</sub>	39,26	18,73	17,99	22,10	29,97	17,51	19,01	12,64	22,15
SiO <sub>2</sub> equiv b	67,93	75,77	74,97	76,00	71,92	77,30	74,45	80,11	74,81
C <sub>fa</sub>	0,58	0,25	0,24	0,29	0,42	0,23	0,26	0,16	0,30

NOTA: Para ceniza clase F el mínimo porcentaje de la suma SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es 70%; para SO<sub>3</sub> máximo 5%; contenido máximo de álcalis equivalente = 5% (Normas NTC 3493 y ASTM C 618)

(1) Calculado según la fórmula de Francoise X. Deloye "Le calcul minéralogique. Application au monuments anciens", Bull. liaison Labo. P. et Ch. 175, Sept-Oct, pp 55-58

$$\text{Puzolanicidad} = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

**LA CENIZA SE CLASIFICA COMO TIPO "F"**

--\* = Por debajo del límite de detección



**ANEXO 4. RESULTADOS DE ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI  
AGREGADO CASO A**

### ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO- CASO A

Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

#### Requisitos de gradación

Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 (No. 8)	10
2,36 (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

#### NORMAS UTILIZADAS

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO

ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.

Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.

Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

#### Muestra # 1 Agregados cantera Lajitas Cemento de ensayo: Cemento tipo I

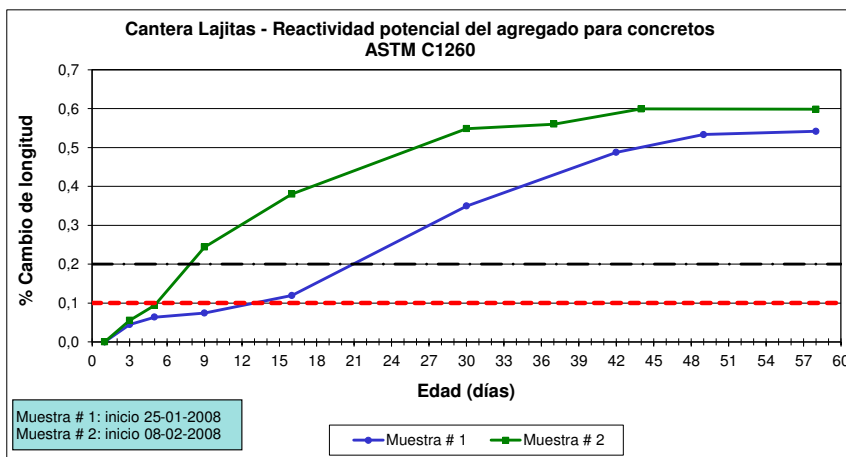
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
25/01/2008	1	0.0000
27/01/2008	3	0.0445
29/01/2008	5	0.0639
02/02/2008	9	0.0742
09/02/2008	16	0.1194
23/02/2008	30	0.3495
06/03/2008	42	0.4874
13/03/2008	49	0.5333
22/03/2008	58	0.5416

Norma ASTM C1260

#### Muestra # 2 Agregados cantera Lajitas Cemento de ensayo: Cemento tipo I

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
08/02/2008	1	0.0000
10/02/2008	3	0.0554
12/02/2008	5	0.094
16/02/2008	9	0.2438
23/02/2008	16	0.3801
08/03/2008	30	0.5487
15/03/2008	37	0.5601
22/03/2008	44	0.5991
05/04/2008	58	0.5982

Norma ASTM C1260



**ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO CON USO DE CENIZAS FORTIMEZCLAS Y HUMO DE SÍLICE - CASO A**  
Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 ( No. 8)	10
2,36 ( No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.

Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.

Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
24/04/2008	1	0,0000
26/04/2008	3	0,0219
28/04/2008	5	0,0437
02/05/2008	9	0,1322
09/05/2008	16	0,2596
23/05/2008	30	0,5552
30/05/2008	37	0,6136
06/06/2008	44	0,6144
20/06/2008	58	0,6402

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 30% Ceniza Fortimezclas (ASTM C1567)**

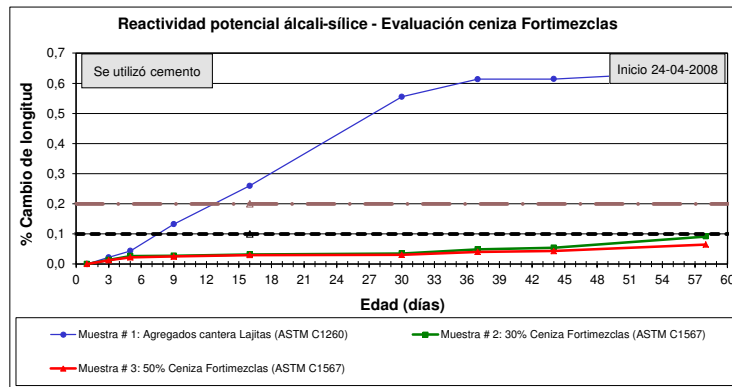
Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
24/04/2008	1	0,0000
26/04/2008	3	0,0134
28/04/2008	5	0,0266
02/05/2008	9	0,0276
09/05/2008	16	0,0319
23/05/2008	30	0,0352
30/05/2008	37	0,0483
06/06/2008	44	0,0541
20/06/2008	58	0,0916

Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 50% Ceniza Fortimezclas (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
24/04/2008	1	0,0000
26/04/2008	3	0,0125
28/04/2008	5	0,022
02/05/2008	9	0,0248
09/05/2008	16	0,0295
23/05/2008	30	0,0304
30/05/2008	37	0,0402
06/06/2008	44	0,0430
20/06/2008	58	0,0646

Norma ASTM C1567



**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
25/04/2008	1	0.0000
27/04/2008	3	0.0374
29/04/2008	5	0.0667
03/05/2008	9	0.1010
10/05/2008	16	0.2781
24/05/2008	30	0.4718
31/05/2008	37	0.5337
07/06/2008	44	0.5483
21/06/2008	58	0.5812

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 5% Humo de sílice (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
25/04/2008	1	0.0000
27/04/2008	3	0.0175
29/04/2008	5	0.0177
03/05/2008	9	0.0416
10/05/2008	16	0.1831
24/05/2008	30	0.3459
31/05/2008	37	0.4066
07/06/2008	44	0.4088
21/06/2008	58	0.4298

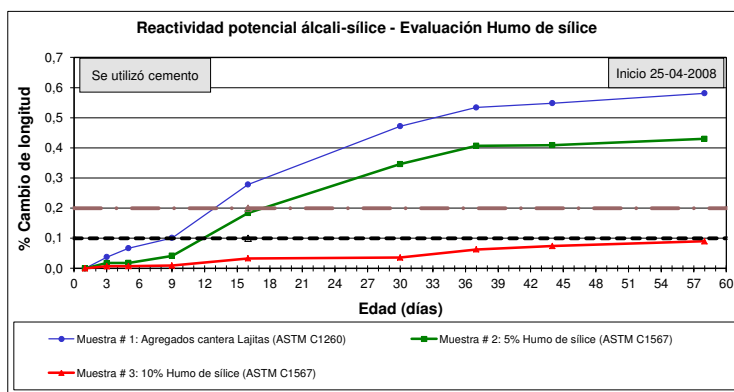
Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 10% Humo de sílice (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
25/04/2008	1	0.0000
27/04/2008	3	0.0070
29/04/2008	5	0.0076
03/05/2008	9	0.0096
10/05/2008	16	0.0332
24/05/2008	30	0.0362
31/05/2008	37	0.0629
07/06/2008	44	0.0738
21/06/2008	58	0.0898

Norma ASTM C1567



**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
13/05/2008	1	0.0000
15/05/2008	3	0.0122
17/05/2008	5	0.0131
21/05/2008	9	0.0446
28/05/2008	16	0.1402
11/06/2008	30	0.2033
18/06/2008	37	0.2125
25/06/2008	44	0.2795
09/07/2008	58	0.307

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 25% Ceniza Termopaipa (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
13/05/2008	1	0.0000
15/05/2008	3	0.0172
17/05/2008	5	0.0216
21/05/2008	9	0.0279
28/05/2008	16	0.0758
11/06/2008	30	0.1220
18/06/2008	37	0.1427
25/06/2008	44	0.1538
09/07/2008	58	0.1631

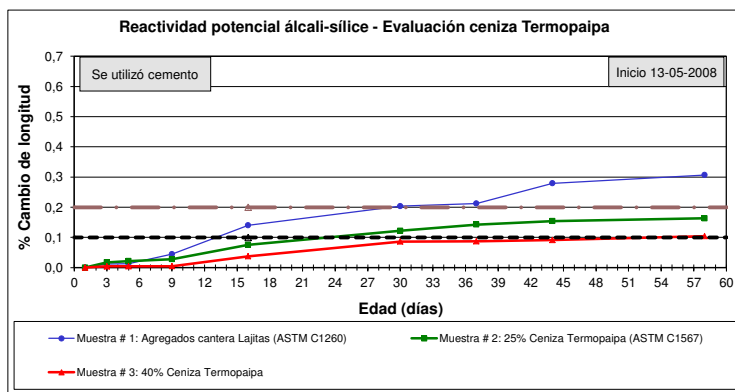
Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 40% Ceniza Termopaipa**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
13/05/2008	1	0.0000
15/05/2008	3	0.0040
17/05/2008	5	0.0045
21/05/2008	9	0.0047
28/05/2008	16	0.0375
11/06/2008	30	0.0865
18/06/2008	37	0.0872
25/06/2008	44	0.0914
09/07/2008	58	0.1041

Norma ASTM C1567





**ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO CON USO DE CENIZAS TERMOTASAJERO, PUZOLANAS Y ESCORIAS - CASO A**  
Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4.75 mm (No. 4)	2.36 ( No. 8)	10
2.36 ( No. 8)	1.18 mm (No. 16)	25
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
20/05/2008	1	0.0000
22/05/2008	3	0.0232
24/05/2008	5	0.0286
28/05/2008	9	0.0399
04/06/2008	16	0.2214
18/06/2008	30	0.2932
25/06/2008	37	0.3954
02/07/2008	44	0.4327
16/07/2008	58	0.5054

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 30% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

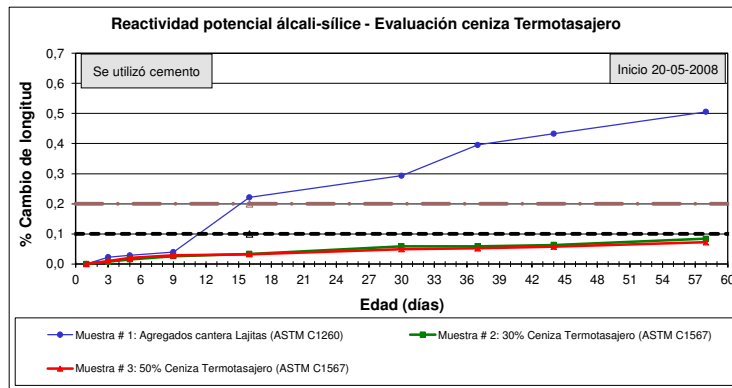
Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
20/05/2008	1	0.0000
22/05/2008	3	0.0075
24/05/2008	5	0.0155
28/05/2008	9	0.0262
04/06/2008	16	0.0337
18/06/2008	30	0.0589
25/06/2008	37	0.0593
02/07/2008	44	0.0636
16/07/2008	58	0.0840

Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 50% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
20/05/2008	1	0.0000
22/05/2008	3	0.0104
24/05/2008	5	0.0206
28/05/2008	9	0.0287
04/06/2008	16	0.0327
18/06/2008	30	0.0497
25/06/2008	37	0.0521
02/07/2008	44	0.0579
16/07/2008	58	0.0723

Norma ASTM C1567



**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
22/05/2008	1	0,0000
24/05/2008	3	0,0076
26/05/2008	5	0,0236
30/05/2008	9	0,0567
06/06/2008	16	0,1084
20/06/2008	30	0,2205
27/06/2008	37	0,3835
04/07/2008	44	0,4415
18/07/2008	58	0,5419

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 25% Puzolana (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
22/05/2008	1	0,0000
24/05/2008	3	0,0115
26/05/2008	5	0,0203
30/05/2008	9	0,0245
06/06/2008	16	0,0310
20/06/2008	30	0,0381
27/06/2008	37	0,1400
04/07/2008	44	0,1976
18/07/2008	58	0,2062

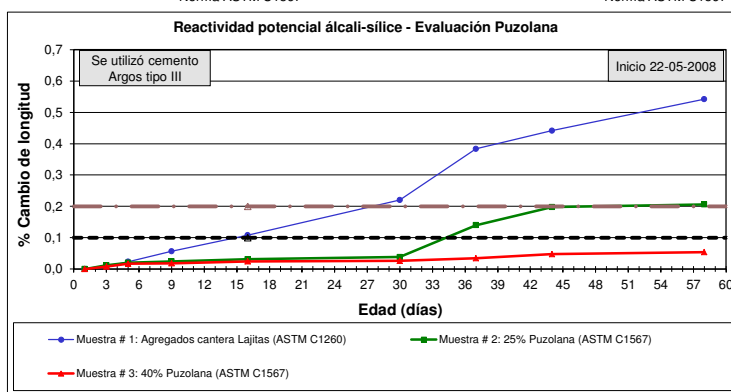
Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 40% Puzolana (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
22/05/2008	1	0,0000
24/05/2008	3	0,0079
26/05/2008	5	0,0167
30/05/2008	9	0,0184
06/06/2008	16	0,0245
20/06/2008	30	0,0262
27/06/2008	37	0,0348
04/07/2008	44	0,0478
18/07/2008	58	0,0543

Norma ASTM C1567



**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
23/05/2008	1	0,0000
25/05/2008	3	0,0050
27/05/2008	5	0,0224
31/05/2008	9	0,0970
07/06/2008	16	0,1483
21/06/2008	30	0,1816
28/06/2008	37	0,3045
05/07/2008	44	0,3643
19/07/2008	58	0,3899

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: Cemento Argos + 30% escoria (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
23/05/2008	1	0,0000
25/05/2008	3	0,0038
27/05/2008	5	0,0108
31/05/2008	9	0,0312
07/06/2008	16	0,0618
21/06/2008	30	0,0633
28/06/2008	37	0,1412
05/07/2008	44	0,1713
19/07/2008	58	0,1953

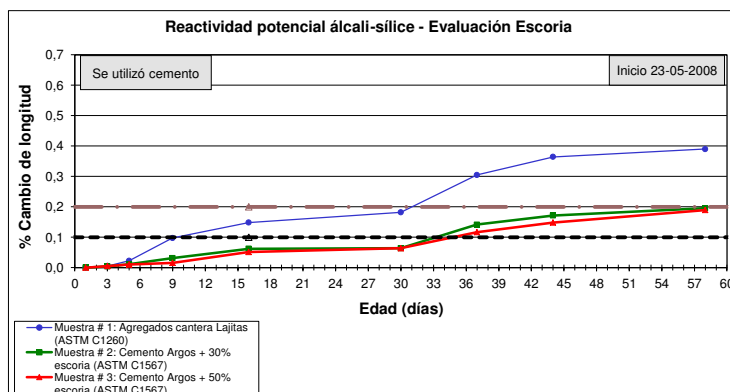
Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: Cemento Argos + 50% escoria (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
23/05/2008	1	0,0000
25/05/2008	3	0,0051
27/05/2008	5	0,0101
31/05/2008	9	0,0154
07/06/2008	16	0,0512
21/06/2008	30	0,0638
28/06/2008	37	0,1168
05/07/2008	44	0,1480
19/07/2008	58	0,1895

Norma ASTM C1567



**ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO CON USO DE POLVO DE ROCA - CASO A**  
Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 ( No. 8)	10
2,36 ( No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1: 10% Polvo de roca (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
07/06/2008	1	0,0000
09/06/2008	3	0,0079
11/06/2008	5	0,0833
15/06/2008	9	0,0975
22/06/2008	16	0,1755
06/07/2008	30	0,2285
13/07/2008	37	0,2766
20/07/2008	44	0,4186
03/08/2008	58	0,5079

Norma ASTM C1567

**Muestra # 2: 15% Polvo de roca (ASTM C1567)**

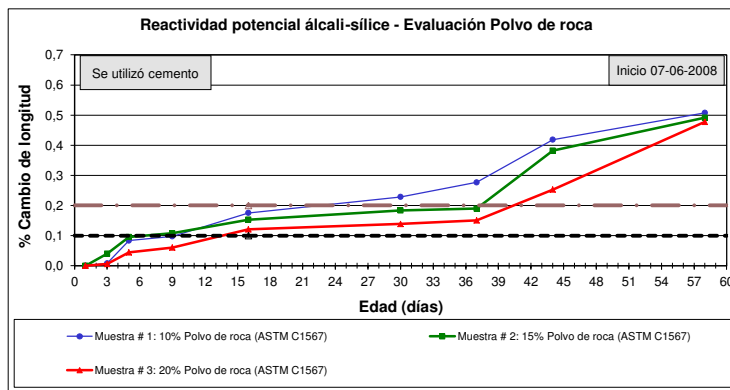
Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
07/06/2008	1	0,0000
09/06/2008	3	0,0403
11/06/2008	5	0,0951
15/06/2008	9	0,1080
22/06/2008	16	0,1529
06/07/2008	30	0,1833
13/07/2008	37	0,1895
20/07/2008	44	0,3823
03/08/2008	58	0,4915

Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 20% Polvo de roca (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
07/06/2008	1	0,0000
09/06/2008	3	0,0059
11/06/2008	5	0,0444
15/06/2008	9	0,0606
22/06/2008	16	0,1211
06/07/2008	30	0,1386
13/07/2008	37	0,1504
20/07/2008	44	0,2530
03/08/2008	58	0,4774

Norma ASTM C1567



**ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO CON USO DE ESCORIA - CASO A**  
Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4.75 mm (No. 4)	2.36 (No. 8)	10
2.36 (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	25
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2.25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.

Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.

Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1: Cemento Argos + 20% escoria (ASTM C1567)**

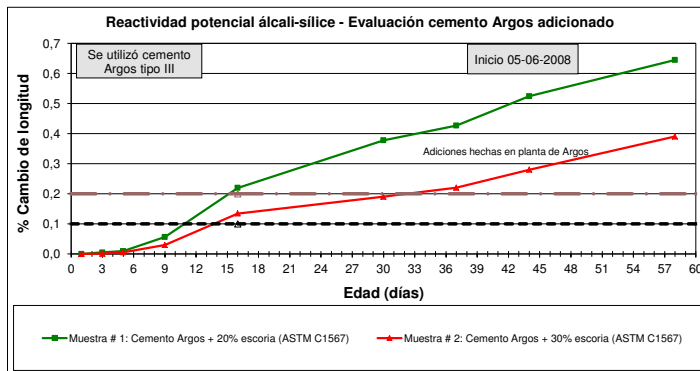
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
05/06/2008	1	0.0000
07/06/2008	3	0.0049
09/06/2008	5	0.0092
13/06/2008	9	0.0564
20/06/2008	16	0.2198
04/07/2008	30	0.3778
11/07/2008	37	0.4270
18/07/2008	44	0.5243
01/08/2008	58	0.6449

Norma ASTM C1567

**Muestra # 2: Cemento Argos + 30% escoria (ASTM C1567)**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
05/06/2008	1	0.0000
07/06/2008	3	0.0010
09/06/2008	5	0.0059
13/06/2008	9	0.0299
20/06/2008	16	0.1346
04/07/2008	30	0.1904
11/07/2008	37	0.2205
18/07/2008	44	0.2801
01/08/2008	58	0.3903

Norma ASTM C1567



**ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO CON USO DE HUMO DE SÍLICE - CASO A**  
Fuente : Unión Temporal Guájira

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 (No. 8)	10
2,36 (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.

Expansiones menores de 0,10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.

Expansiones de mas de 0,20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
22/10/2008	1	0,0000
24/10/2008	3	0,0262
26/10/2008	5	0,0606
30/10/2008	9	0,0756
06/11/2008	16	0,1238
20/11/2008	30	0,1349
27/11/2008	37	0,1377
04/12/2008	44	0,1450
18/12/2008	58	0,1843

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 7,5% Humo de sílice (ASTM C1567)**

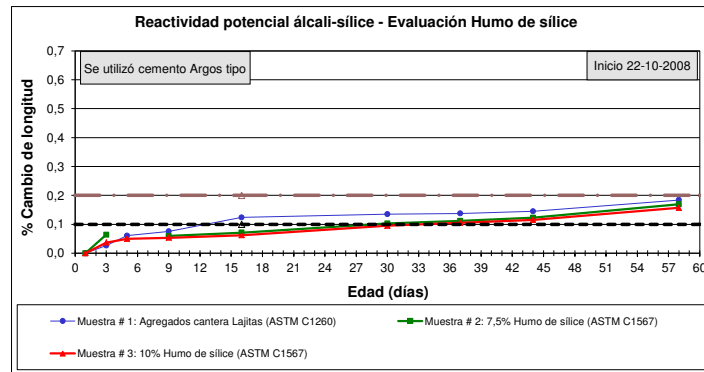
Cemento de ensayo: Cemento Argos Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
22/10/2008	1	0,0000
24/10/2008	3	0,0639
26/10/2008	5	
30/10/2008	9	0,0593
06/11/2008	16	0,0714
20/11/2008	30	0,1028
27/11/2008	37	0,1117
04/12/2008	44	0,1227
18/12/2008	58	0,1694

Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 10% Humo de sílice (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
23/10/2008	1	0,0000
25/10/2008	3	0,0371
27/10/2008	5	0,0499
31/10/2008	9	0,0537
07/11/2008	16	0,0623
21/11/2008	30	0,0948
28/11/2008	37	0,1054
05/12/2008	44	0,1155
19/12/2008	58	0,1568

Norma ASTM C1567



**ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO CON USO DE CENIZA DE TERMOTASAJERO - CASO A**

Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

**Requisitos de gradación**

Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 ( No. 8)	10
2,36 ( No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO

ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.

Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.

Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1: Ceniza al 30% (ASTM C1567)**

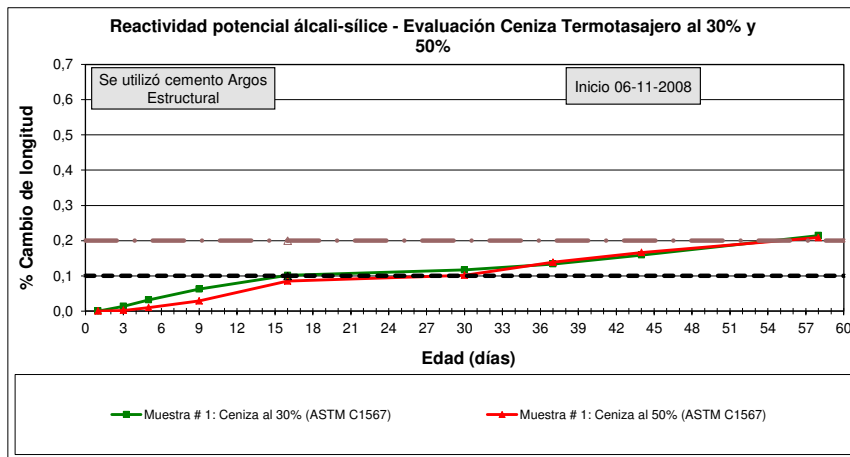
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
06/11/2008	1	0,0000
08/11/2008	3	0,0135
10/11/2008	5	0,0316
14/11/2008	9	0,0623
21/11/2008	16	0,1012
05/12/2008	30	0,1168
12/12/2008	37	0,1335
19/12/2008	44	0,1589
02/01/2009	58	0,2146

**Muestra # 1: Ceniza al 50% (ASTM C1567)**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
06/11/2008	1	0,0000
08/11/2008	3	0,0021
10/11/2008	5	0,0100
14/11/2008	9	0,0285
21/11/2008	16	0,0850
05/12/2008	30	0,1016
12/12/2008	37	0,1386
19/12/2008	44	0,1661
02/01/2009	58	0,2084

Norma ASTM C1567

Norma ASTM C1567



## ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO CON USO DE HUMO DE SÍLICE - CASO A

Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 ( No. 8)	10
2,36 ( No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

### NORMAS UTILIZADAS

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO

ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.

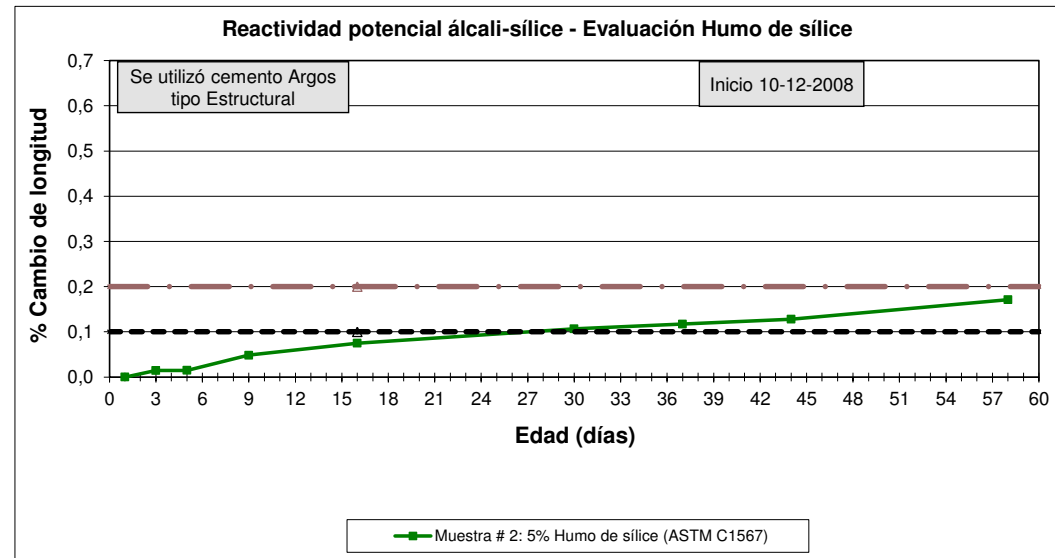
Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.

Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

### Muestra # 2: 5% Humo de sílice (ASTM C1567)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
10/12/2008	1	0,0000
12/12/2008	3	0,0146
14/12/2008	5	0,0147
18/12/2008	9	0,0483
25/12/2008	16	0,0747
08/01/2009	30	0,1067
15/01/2009	37	0,1172
22/01/2009	44	0,1278
05/02/2009	58	0,1710

Norma ASTM C1567



**PRUEBA DE VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA CENIZA VOLANTE - CASO A**  
Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado (arena # 4 y grava) se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 ( No. 8)	10
2,36 ( No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaOH

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**EL CEMENTO TIPO III ES DE FECHA DICIEMBRE 16 DE 2008**  
**LA CENIZA # 49 LLEGÓ AL PROYECTO EL 13 DE DICIEMBRE DE 2008**

**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
20/01/2009	1	0,0000
22/01/2009	3	0,0047
24/01/2009	5	0,0186
28/01/2009	9	0,0514
04/02/2009	16	0,1026
18/02/2009	30	0,2136
25/02/2009	37	0,3346
04/03/2009	44	0,3930
18/03/2009	58	0,4572

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 20% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

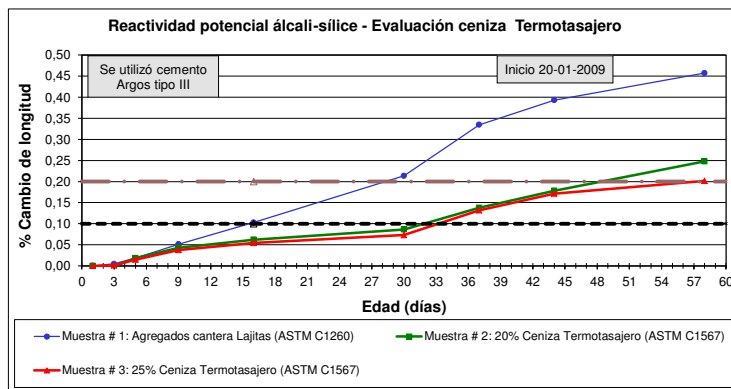
Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
20/01/2009	1	0,0000
22/01/2009	3	-0,0008
24/01/2009	5	0,0184
28/01/2009	9	0,0433
04/02/2009	16	0,0622
18/02/2009	30	0,0862
25/02/2009	37	0,1375
04/03/2009	44	0,1782
18/03/2009	58	0,2477

Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 25% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
20/01/2009	1	0,0000
22/01/2009	3	0,0010
24/01/2009	5	0,0150
28/01/2009	9	0,0378
04/02/2009	16	0,0543
18/02/2009	30	0,0731
25/02/2009	37	0,1316
04/03/2009	44	0,1715
18/03/2009	58	0,2017

Norma ASTM C1567





**PRUEBA DE VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA CENIZA VOLANTE - CASO A**

Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado (arena # 4 y grava) se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4.75 mm (No. 4)	2.36 ( No. 8)	10
2.36 ( No. 8)	1.18 mm (No. 16)	25
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2.25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaOH

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
 ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
 Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
 Expansiones de más de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**LA CENIZA # 58 LLEGÓ AL PROYECTO EL 17 DE ENERO 2009 (FINURA = 74% PASA TAMIZ # 325)**

**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
17/02/2009	1	0.0000
19/02/2009	3	0.0051
21/02/2009	5	0.0627
25/02/2009	9	0.1797
04/03/2009	16	0.2757
18/03/2009	30	0.3987
25/03/2009	37	0.4516
01/04/2009	44	0.4850
15/04/2009	58	0.5211

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 20% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
17/02/2009	1	0.0000
19/02/2009	3	0.005
21/02/2009	5	0.056
25/02/2009	9	0.0828
04/03/2009	16	0.0919
18/03/2009	30	0.1807
25/03/2009	37	0.2295
01/04/2009	44	0.2752
15/04/2009	58	0.3366

Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 25% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
17/02/2009	1	0.0000
19/02/2009	3	0.005
21/02/2009	5	0.0558
25/02/2009	9	0.0749
04/03/2009	16	0.0804
18/03/2009	30	0.1298
25/03/2009	37	0.1583
01/04/2009	44	0.1907
15/04/2009	58	0.2282

Norma ASTM C1567

**Muestra # 4: 30% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

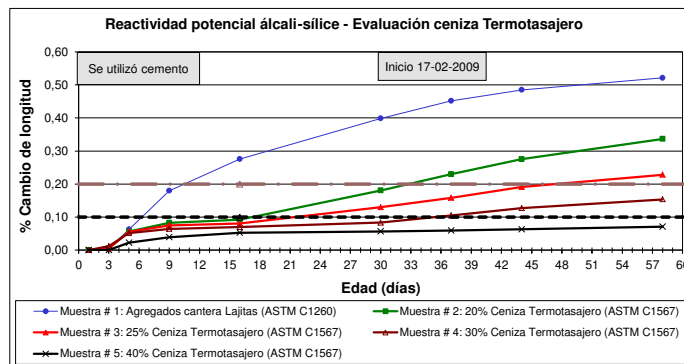
Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
17/02/2009	1	0.0000
19/02/2009	3	0.0117
21/02/2009	5	0.0512
25/02/2009	9	0.0642
04/03/2009	16	0.0698
18/03/2009	30	0.0831
25/03/2009	37	0.1047
01/04/2009	44	0.1270
15/04/2009	58	0.1537

Norma ASTM C1567

**Muestra # 5: 40% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo III		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
17/02/2009	1	0.0000
19/02/2009	3	0.0003
21/02/2009	5	0.0223
25/02/2009	9	0.0392
04/03/2009	16	0.0526
18/03/2009	30	0.0568
25/03/2009	37	0.0593
01/04/2009	44	0.0631
15/04/2009	58	0.0709

Norma ASTM C1567



**PRUEBA DE VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL HUMO DE SÍLICE Y CENIZA VOLANTE - CASO A**  
Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado (arena # 4 y grava) se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 (No. 8)	10
2,36 (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**LOS CEMENTOS TIPO "ESTRUCTURAL" Y TIPO III (Muestra 469) SE MUESTREARON EL 10 DE JULIO 2009, ASÍ COMO EL HUMO DE SÍLICE LA CENIZA # 138 LLEGÓ AL PROYECTO EL 08 DE JULIO 2009 (FINURA = 77% PASA TAMIZ # 325)**

**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
19/08/2009	1	0,0000
21/08/2009	3	0,0168
23/08/2009	5	0,1089
27/08/2009	9	0,2063
03/09/2009	16	0,3714
10/09/2009	23	0,4331
17/09/2009	30	0,5308
24/09/2009	37	0,5787
01/10/2009	44	0,6381
15/10/2009	58	0,6853

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 30% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

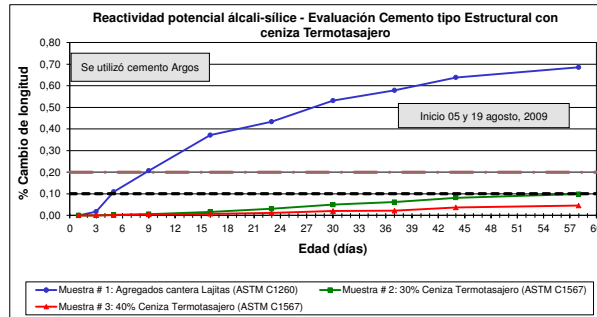
Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
05/08/2009	1	0,0000
07/08/2009	3	-0,0007
09/08/2009	5	0,0025
13/08/2009	9	0,0055
20/08/2009	16	0,0155
27/08/2009	23	0,0308
03/09/2009	30	0,0497
10/09/2009	37	0,0614
17/09/2009	44	0,0818
01/10/2009	58	0,0982

Norma ASTM C1567

**Muestra # 3: 40% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
05/08/2009	1	0,0000
07/08/2009	3	0,0001
09/08/2009	5	0,0008
13/08/2009	9	0,0046
20/08/2009	16	0,0075
27/08/2009	23	0,0117
03/09/2009	30	0,0201
10/09/2009	37	0,0214
17/09/2009	44	0,0366
01/10/2009	58	0,0453

Norma ASTM C1567



**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
19/08/2009	1	0,0000
21/08/2009	3	0,0168
23/08/2009	5	0,1089
27/08/2009	9	0,2063
03/09/2009	16	0,3714
10/09/2009	23	0,4331
17/09/2009	30	0,5308
24/09/2009	37	0,5787
01/10/2009	44	0,6381
15/10/2009	58	0,6853

Norma ASTM C1260

**Muestra # 2: 7,5% Humo de sílice (ASTM C1567)**

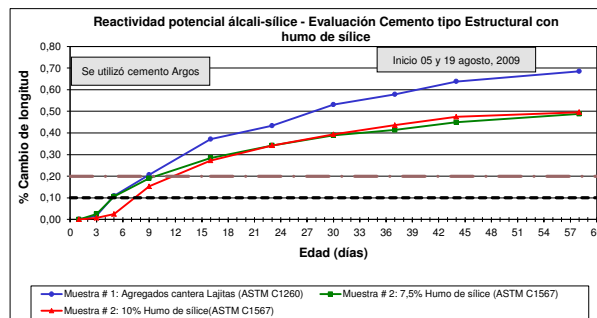
Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
05/08/2009	1	0,0000
07/08/2009	3	0,0247
09/08/2009	5	0,1055
13/08/2009	9	0,1904
20/08/2009	16	0,2840
27/08/2009	23	0,3420
03/09/2009	30	0,3888
10/09/2009	37	0,4134
17/09/2009	44	0,4493
01/10/2009	58	0,4878

Norma ASTM C1567

**Muestra # 2: 10% Humo de sílice (ASTM C1567)**

Cemento de ensayo: Cemento Argos tipo Estructural		
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
11/08/2009	1	0,0000
13/08/2009	3	0,0066
15/08/2009	5	0,0247
19/08/2009	9	0,1528
26/08/2009	16	0,2720
02/09/2009	23	0,3421
09/09/2009	30	0,3929
16/09/2009	37	0,4356
23/09/2009	44	0,4745
07/10/2009	58	0,4958

Norma ASTM C1567



Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
19/08/2009	1	0,0000
21/08/2009	3	0,0007
23/08/2009	5	0,0723
27/08/2009	9	0,1681
03/09/2009	16	0,3710
10/09/2009	23	0,4686
17/09/2009	30	0,5593
24/09/2009	37	0,6228
01/10/2009	44	0,6369
15/10/2009	58	0,7584

Norma ASTM C1260

Muestra # 2: 30% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)

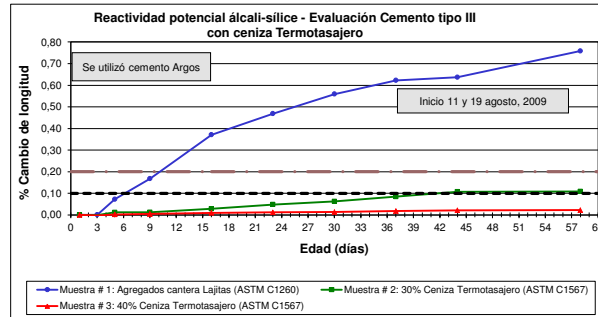
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
11/08/2009	1	0,0000
13/08/2009	3	-0,0010
15/08/2009	5	0,0118
19/08/2009	9	0,0123
26/08/2009	16	0,0283
02/09/2009	23	0,0484
09/09/2009	30	0,0627
16/09/2009	37	0,0845
23/09/2009	44	0,1075
07/10/2009	58	0,1088

Norma ASTM C1567

Muestra # 3: 40% Ceniza Termotasajero (ASTM C1567)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
13/08/2009	1	0,0000
15/08/2009	3	-0,0020
17/08/2009	5	0,0022
21/08/2009	9	0,0041
28/08/2009	16	0,0089
04/09/2009	23	0,0117
11/09/2009	30	0,013
18/09/2009	37	0,0176
25/09/2009	44	0,0213
09/10/2009	58	0,0218

Norma ASTM C1567



Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
19/08/2009	1	0,0000
21/08/2009	3	0,0007
23/08/2009	5	0,0723
27/08/2009	9	0,1681
03/09/2009	16	0,3710
10/09/2009	23	0,4686
17/09/2009	30	0,5593
24/09/2009	37	0,6228
01/10/2009	44	0,6369
15/10/2009	58	0,7584

Norma ASTM C1260

Muestra # 2: 7,5% Humo de sílice (ASTM C1567)

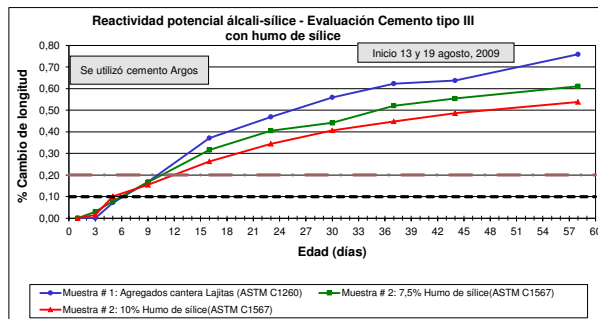
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
13/08/2009	1	0,0000
15/08/2009	3	0,0304
17/08/2009	5	0,0793
21/08/2009	9	0,1664
28/08/2009	16	0,3157
04/09/2009	23	0,4046
11/09/2009	30	0,4412
18/09/2009	37	0,5211
25/09/2009	44	0,5537
09/10/2009	58	0,6106

Norma ASTM C1567

Muestra # 2: 10% Humo de sílice (ASTM C1567)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
19/08/2009	1	0,0000
21/08/2009	3	0,0151
23/08/2009	5	0,1013
27/08/2009	9	0,1546
03/09/2009	16	0,2625
10/09/2009	23	0,3445
17/09/2009	30	0,4064
24/09/2009	37	0,4483
01/10/2009	44	0,4856
15/10/2009	58	0,5383

Norma ASTM C1567



**PRUEBA DE VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL HUMO DE SÍLICE Y POLVO DE ROCA- CASO A**  
Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado (arena # 4 y grava) se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 (No. 8)	10
2,36 (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
Expansiones menores de 0,10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0,20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**LOS CEMENTOS TIPO "ESTRUCTURAL" Y TIPO III (Muestra 567) SE MUESTREARON EL 19 DE SEPTIEMBRE 2009, ASÍ COMO EL HUMO DE SÍLICE LA CENIZA # 187 LLEGÓ AL PROYECTO EL 17 DE SEPTIEMBRE 2009 (FINURA = 75% PASA TAMIZ # 325)**

**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260) + Polvo de roca al 15%**

**Muestra # 2: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Polvo de roca al 20%**

**Muestra # 3: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Polvo de roca al 30%**

Cemento de ensayo: 85% de Cemento Argos tipo Estructural

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
23/10/2009	1	0,0000
25/10/2009	3	0,0113
27/10/2009	5	0,0249
31/10/2009	9	0,0825
07/11/2009	16	0,3155
14/11/2009	23	0,3763
21/11/2009	30	0,4188
28/11/2009	37	0,4467
05/12/2009	44	0,4695
19/12/2009	58	0,4929

Cemento de ensayo: 80% de Cemento Argos tipo Estructural

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
23/10/2009	1	0,0000
25/10/2009	3	0,0120
27/10/2009	5	0,0247
31/10/2009	9	0,0991
07/11/2009	16	0,3248
14/11/2009	23	0,3775
21/11/2009	30	0,4209
28/11/2009	37	0,4453
05/12/2009	44	0,4603
19/12/2009	58	0,4876

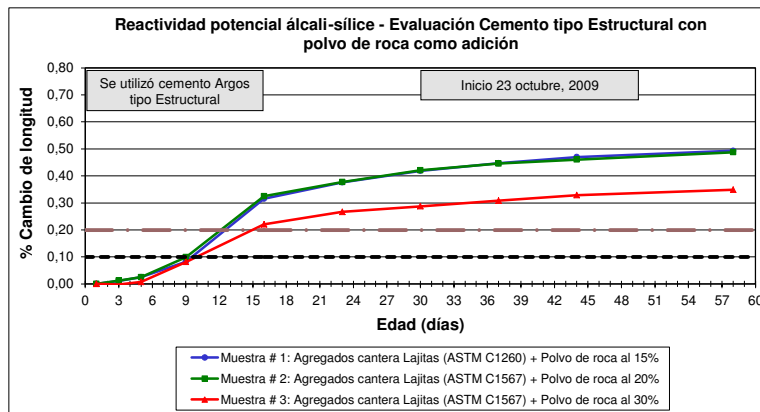
Cemento de ensayo: 70% de Cemento Argos tipo Estructural

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
27/10/2009	1	0,0000
29/10/2009	3	-0,0024
31/10/2009	5	0,0072
04/11/2009	9	0,0815
11/11/2009	16	0,2205
18/11/2009	23	0,2668
25/11/2009	30	0,2876
02/12/2009	37	0,3085
09/12/2009	44	0,3291
23/12/2009	58	0,3489

Informe Asocreto 693-09  
Norma ASTM C1567

Norma ASTM C1567

Norma ASTM C1567



Expansiones menores de 0,10% a 16 días después de empezar la prueba, son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0,20% a 16 días después de empezar la prueba, son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Humo de sílice al 7,5%

Cemento de ensayo: 92,5% de Cemento Argos tipo Estructural

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
27/10/2009	1	0,0000
29/10/2009	3	-0,0033
31/10/2009	5	0,0063
04/11/2009	9	0,0344
11/11/2009	16	0,2615
18/11/2009	23	0,3583
25/11/2009	30	0,4224
02/12/2009	37	0,4659
09/12/2009	44	0,5032
23/12/2009	58	0,5439

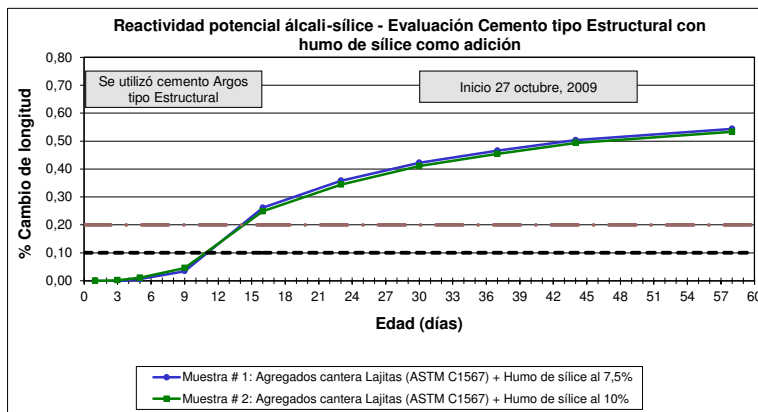
Muestra # 2: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Humo de sílice al 10%

Cemento de ensayo: 90% de Cemento Argos tipo Estructural

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
27/10/2009	1	0,0000
29/10/2009	3	0,0019
31/10/2009	5	0,0109
04/11/2009	9	0,0457
11/11/2009	16	0,2487
18/11/2009	23	0,3444
25/11/2009	30	0,4107
02/12/2009	37	0,4544
09/12/2009	44	0,4936
23/12/2009	58	0,5335

Informe Asocreto 693-09  
Norma ASTM C1567

Norma ASTM C1567



Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1260) + Polvo de roca al 15%

Cemento de ensayo: 85% Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
27/10/2009	1	0,0000
29/10/2009	3	0,0017
31/10/2009	5	0,0124
04/11/2009	9	0,0700
11/11/2009	16	0,3027
18/11/2009	23	0,3789
25/11/2009	30	0,4280
02/12/2009	37	0,4624
09/12/2009	44	0,4968
23/12/2009	58	0,5325

Norma ASTM C1567

Muestra # 2: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Polvo de roca al 20%

Cemento de ensayo: 80% Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
28/10/2009	1	0,0000
30/10/2009	3	0,0000
01/11/2009	5	0,0343
05/11/2009	9	0,0753
12/11/2009	16	0,2903
19/11/2009	23	0,3884
26/11/2009	30	0,4360
03/12/2009	37	0,4613
10/12/2009	44	0,4880
24/12/2009	58	0,5139

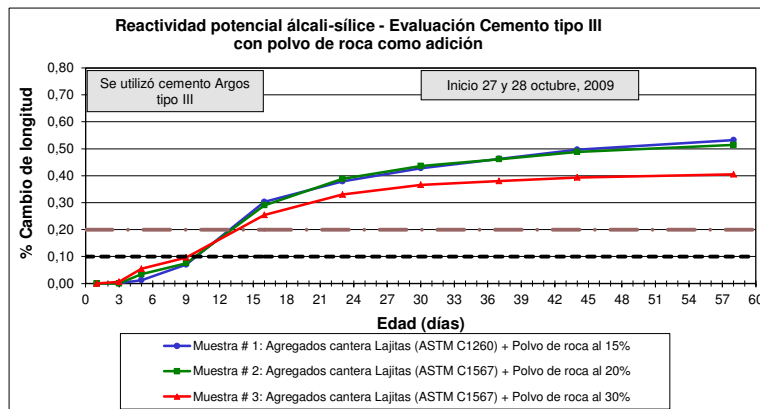
Norma ASTM C1567

Muestra # 3: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Polvo de roca al 30%

Cemento de ensayo: 70% Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
28/10/2009	1	0,0000
30/10/2009	3	0,0060
01/11/2009	5	0,0545
05/11/2009	9	0,0965
12/11/2009	16	0,2545
19/11/2009	23	0,3299
26/11/2009	30	0,3661
03/12/2009	37	0,3803
10/12/2009	44	0,3937
24/12/2009	58	0,4052

Norma ASTM C1567



**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Humo de sílice al 7,5%**

**Cemento de ensayo: 92.5% Cemento Argos tipo III**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
28/10/2009	1	0,0000
30/10/2009	3	0,0020
01/11/2009	5	0,0191
05/11/2009	9	0,0372
12/11/2009	16	0,2416
19/11/2009	23	0,3795
26/11/2009	30	0,4620
03/12/2009	37	0,5075
10/12/2009	44	0,5525
24/12/2009	58	0,5961

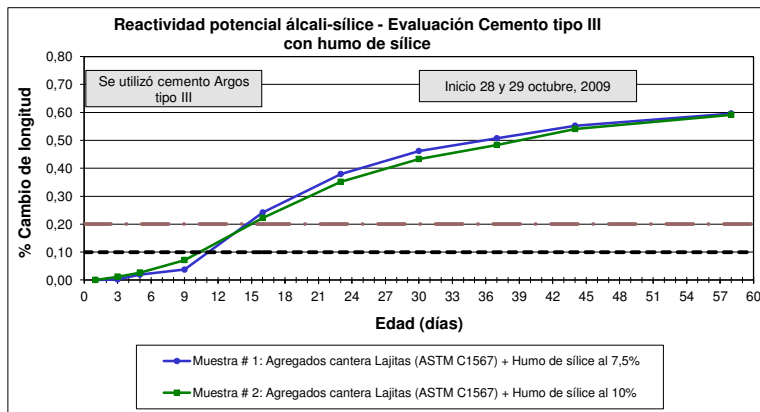
**Muestra # 2: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Humo de sílice al 10%**

**Cemento de ensayo: 90% Cemento Argos tipo III**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
29/10/2009	1	0,0000
31/10/2009	3	0,0119
02/11/2009	5	0,0263
06/11/2009	9	0,0712
13/11/2009	16	0,2220
20/11/2009	23	0,3511
27/11/2009	30	0,4333
04/12/2009	37	0,4835
11/12/2009	44	0,5408
25/12/2009	58	0,5913

Informe Asocreto 693-09  
Norma ASTM C1567

Norma ASTM C1567



**PRUEBA DE VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL HUMO DE SÍLICE- CASO A**

Fuente : Unión Temporal Guajira

El agregado (arena # 4 y grava) se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 ( No. 8)	10
2,36 ( No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
 ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
 Expansiones menores de 0,10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
 Expansiones de mas de 0,20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**LOS CEMENTOS TIPO "ESTRUCTURAL" Y TIPO III (Muestra 567) SE MUESTREARON EL 19 DE SEPTIEMBRE 2009, ASÍ COMO EL HUMO DE SÍLICE (SIKAFUME) LA CENIZA # 187 LLEGÓ AL PROYECTO EL 17 DE SEPTIEMBRE 2009 (FINURA = 75% PASA TAMIZ # 325)**

**Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Humo de sílice al 7,5%**

Cemento de ensayo: 92,5% de Cemento Argos tipo Estructural

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
25/11/2009	1	0,0000
27/11/2009	3	0,0091
29/11/2009	5	0,0831
03/12/2009	9	0,1333
10/12/2009	16	0,3633
17/12/2009	23	0,4383
24/12/2009	30	0,5068
31/12/2009	37	0,5335
07/01/2010	44	0,5641
21/01/2010	58	0,5905

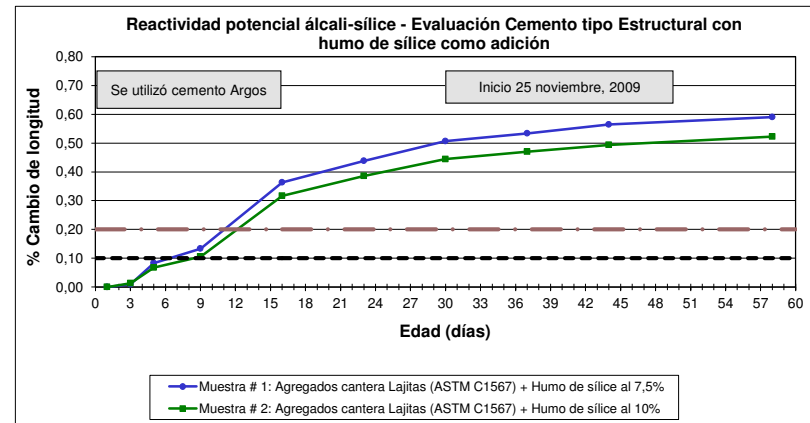
Informe Asocreto 694-09  
 Norma ASTM C1567

**Muestra # 2: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Humo de sílice al 10%**

Cemento de ensayo: 90% de Cemento Argos tipo Estructural

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
25/11/2009	1	0,0000
27/11/2009	3	0,0131
29/11/2009	5	0,0675
03/12/2009	9	0,1057
10/12/2009	16	0,3168
17/12/2009	23	0,3859
24/12/2009	30	0,4441
31/12/2009	37	0,4703
07/01/2010	44	0,4935
21/01/2010	58	0,5225

Norma ASTM C1567



Muestra # 1: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Humo de sílice al 7,5%

Cemento de ensayo: 92.5% Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
25/11/2009	1	0,0000
27/11/2009	3	0,0121
29/11/2009	5	0,0703
03/12/2009	9	0,1129
10/12/2009	16	0,3308
17/12/2009	23	0,4299
24/12/2009	30	0,5268
31/12/2009	37	0,5868
07/01/2010	44	0,6085
21/01/2010	58	0,6304

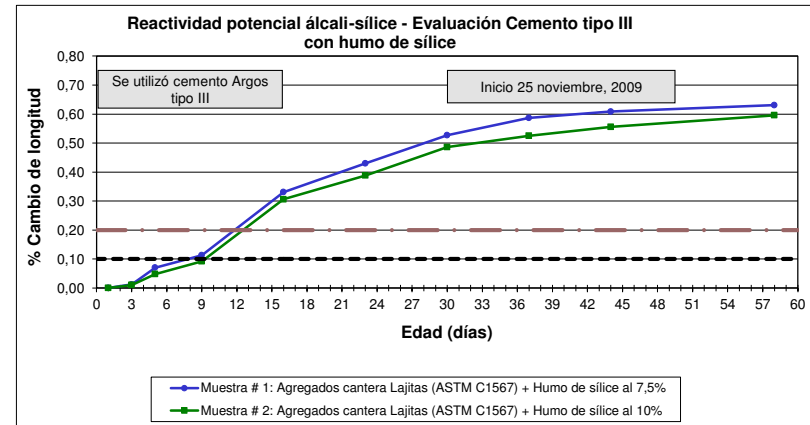
Informe Asocreto 694-09  
Norma ASTM C1567

Muestra # 2: Agregados cantera Lajitas (ASTM C1567) + Humo de sílice al 10%

Cemento de ensayo: 90% Cemento Argos tipo III

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
25/11/2009	1	0,0000
27/11/2009	3	0,0108
29/11/2009	5	0,0483
03/12/2009	9	0,0923
10/12/2009	16	0,3059
17/12/2009	23	0,3884
24/12/2009	30	0,4860
31/12/2009	37	0,5253
07/01/2010	44	0,5559
21/01/2010	58	0,5959

Norma ASTM C1567





## **ANEXO 5. REGISTRO FOTOGRÁFICO CASO A**



Foto No. 1- Estado de la cara de la presa del caso A. (Fuente propia- 03 de septiembre 2013)



Foto No. 2- Detalle de estado de sellos de juntas de la cara de la presa del caso A. (Fuente propia- 03 de septiembre 2013)

## **ANEXO 6. RESULTADOS ENSAYO DRX CASO B**

## **Name and formula**

Reference code: 01-073-1667  
Mineral name: Bornite  
Compound name: Copper Iron Sulfide  
ICSD name: Copper Iron Sulfide  
Empirical formula:  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$   
Chemical formula:  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: F23  
Space group number: 196  
a (Å): 5,4700  
b (Å): 5,4700  
c (Å): 5,4700  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 5,09  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 163,67  
Z: 1,00  
RIR: 5,85

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
ICSD Pattern  
Inorganic  
Mineral  
Quality: Calculated (C)

## **Comments**

ICSD collection code: 024174  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 024174  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF missing  
Sample Source or Locality: Specimen from Varn Brea mine, Illogan, Cornwall  
Additional Patterns: See PDF 14-323. On the Symmetry and Crystal Structure of Bornite.

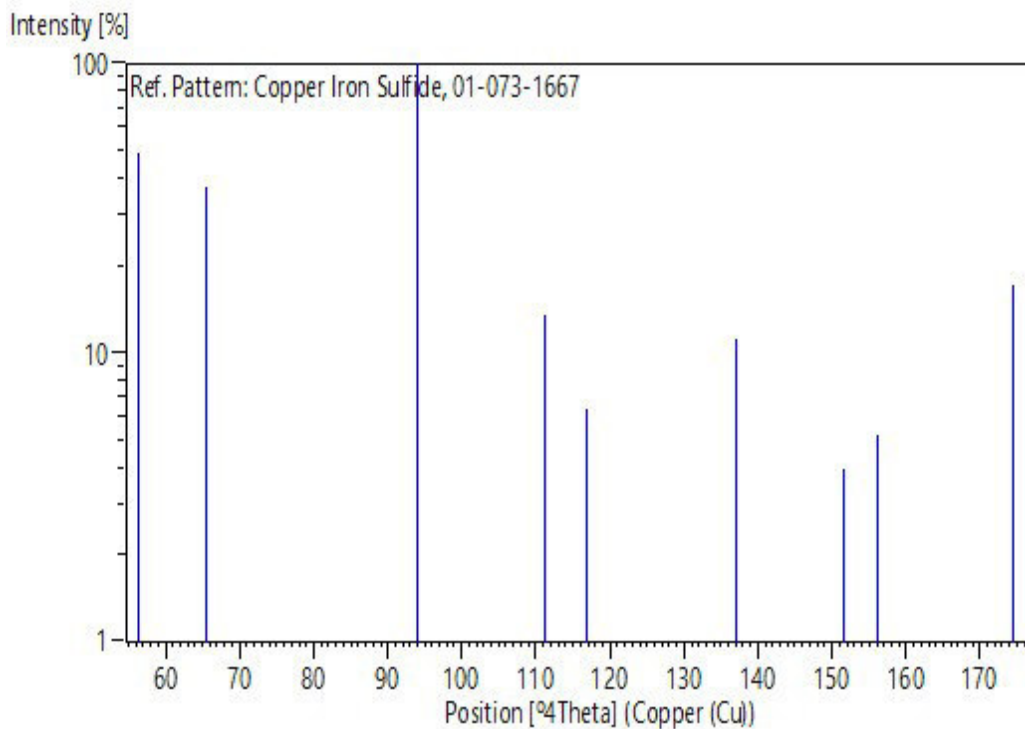
## **References**

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++  
Structure: Tunell, G., Adams, C.E., Am. Mineral., **34**, 824, (1949)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	3,15811	28,235	49,1
2	2	0	0	2,73500	32,717	37,4
3	2	2	0	1,93394	46,945	100,0
4	3	1	1	1,64927	55,687	13,5
5	2	2	2	1,57905	58,395	6,4
6	4	0	0	1,36750	68,567	11,1
7	3	3	1	1,25490	75,734	4,0
8	0	2	4	1,22313	78,067	5,2
9	4	2	2	1,11656	87,242	17,2

### Stick Pattern



~~23:54:24~~**Name and formula**

Reference code: 00-005-0586

Mineral name: Calcite, syn

Compound name: Calcium Carbonate

PDF index name: Calcium Carbonate

Empirical formula:  $\text{CCaO}_3$

Chemical formula:  $\text{CaCO}_3$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral

Space group: R-3c

Space group number: 167

a (Å): 4,9890

b (Å): 4,9890

c (Å): 17,0620

Alpha (°): 90,0000

Beta (°): 90,0000

Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,71

Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 2,71

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 367,78

Z: 6,00

RIR: 2,00

**Subfiles and quality**

Subfiles: Cement and Hydration Product  
Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
Inorganic  
Mineral  
NBS pattern  
Pharmaceutical  
Superconducting Material

Quality: Star (S)

**Comments**

Color: Colorless

Creation Date: 01/01/1970

Modification Date: 01/01/1970

Optical Data: A=1.487, B=1.659, Sign=-

Color: Colorless

Sample Source or Locality: Sample from Mallinckrodt Chemical Works

Analysis: Spectroscopic analysis: <0.1% Sr; <0.01% Ba; <0.001% Al, B, Cs, Cu, K, Mg, Na, Si, Sn; <0.0001% Ag, Cr, Fe, Li, Mn. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 26 C. Other form: aragonite. Pattern reviewed by Parks, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ., Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grant-in-Aid(1992). Agrees well with experimental

and calculated patterns. Additional weak reflections [indicated by brackets] were observed. Additional Patterns: See ICSD 16710, 20179, 28827, 18164, 18165 and 18166 (PDF 72-1214 and 72-1937); ICSD 73446 (PDF 81-2027); ICSD 79673 (PDF 83-577); ICSD 79674 (PDF 83-578).

## References

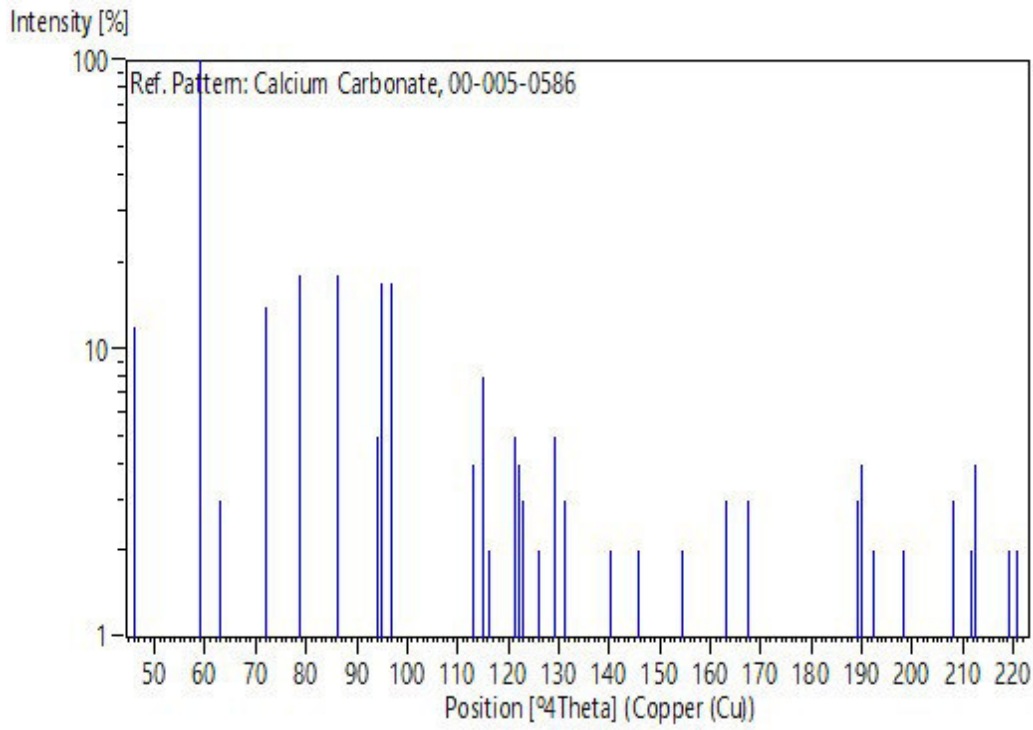
Primary reference: Swanson, Fuyat., Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, <sup>ii</sup>, 51, (1953)  
Optical data: Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., <sup>ii</sup>, 142

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	1	2	3,86000	23,022	12,0
2	1	0	4	3,03500	29,406	100,0
3	0	0	6	2,84500	31,418	3,0
4	1	1	0	2,49500	35,966	14,0
5	1	1	3	2,28500	39,402	18,0
6	2	0	2	2,09500	43,146	18,0
7	0	2	4	1,92700	47,124	5,0
8	0	1	8	1,91300	47,490	17,0
9	1	1	6	1,87500	48,514	17,0
10	2	1	1	1,62600	56,555	4,0
11	1	2	2	1,60400	57,402	8,0
12	1	0	10	1,58700	58,075	2,0
13	2	1	4	1,52500	60,678	5,0
14	2	0	8	1,51800	60,987	4,0
15	1	1	9	1,51000	61,345	3,0
16	1	2	5	1,47300	63,060	2,0
17	3	0	0	1,44000	64,678	5,0
18	0	0	12	1,42200	65,599	3,0
19	2	1	7	1,35600	69,231	1,0
20	0	2	10	1,33900	70,238	2,0
21	1	2	8	1,29700	72,870	2,0
22	3	0	6	1,28400	73,729	1,0
23	2	2	0	1,24700	76,300	1,0
24	1	1	12	1,23500	77,177	2,0
25	3	1	2	1,18690	80,933	1,0
26	2	1	10	1,17950	81,547	3,0
27	0	1	14	1,17280	82,113	1,0
28	1	3	4	1,15380	83,767	3,0
29	2	2	6	1,14250	84,788	1,0
30	1	2	11	1,12440	86,483	1,0
31	2	0	14	1,06130	93,072	1,0
32	4	0	4	1,04730	94,701	3,0
33	3	1	8	1,04470	95,011	4,0
34	1	0	16	1,03520	96,165	2,0
35	2	1	13	1,02340	97,647	1,0
36	3	0	12	1,01180	99,161	2,0
37	3	2	1	0,98950	102,242	1,0
38	2	3	2	0,98460	102,952	1,0
39	1	3	10	0,97820	103,899	1,0
40	1	2	14	0,97670	104,124	3,0
41	3	2	4	0,96550	105,846	2,0
42	0	4	8	0,96360	106,145	4,0
43	0	2	16	0,95620	107,334	1,0
44	4	1	0	0,94290	109,561	2,0

45 2 2 12 0,93760 110,484 2,0

### Stick Pattern





## **Name and formula**

Reference code: 00-005-0628  
Mineral name: Halite, syn  
Compound name: Sodium Chloride  
PDF index name: Sodium Chloride  
Empirical formula: ClNa  
Chemical formula: NaCl

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Fm-3m  
Space group number: 225  
a (Å): 5,6402  
b (Å): 5,6402  
c (Å): 5,6402  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,16  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 2,17  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 179,43  
Z: 4,00  
RIR: 4,40

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
Inorganic  
Mineral  
NBS pattern  
Pharmaceutical  
Quality: Star (S)

## **Comments**

Color: Colorless  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
An ACS reagent grade sample recrystallized twice from hydrochloric acid. Temperature of Data Collection: 26 C  
Pattern taken at  
Optical Data: B=1.542  
Color: Colorless  
Melting Point: 804°  
Additional Patterns: See ICSD 18189 (PDF 72-1668).

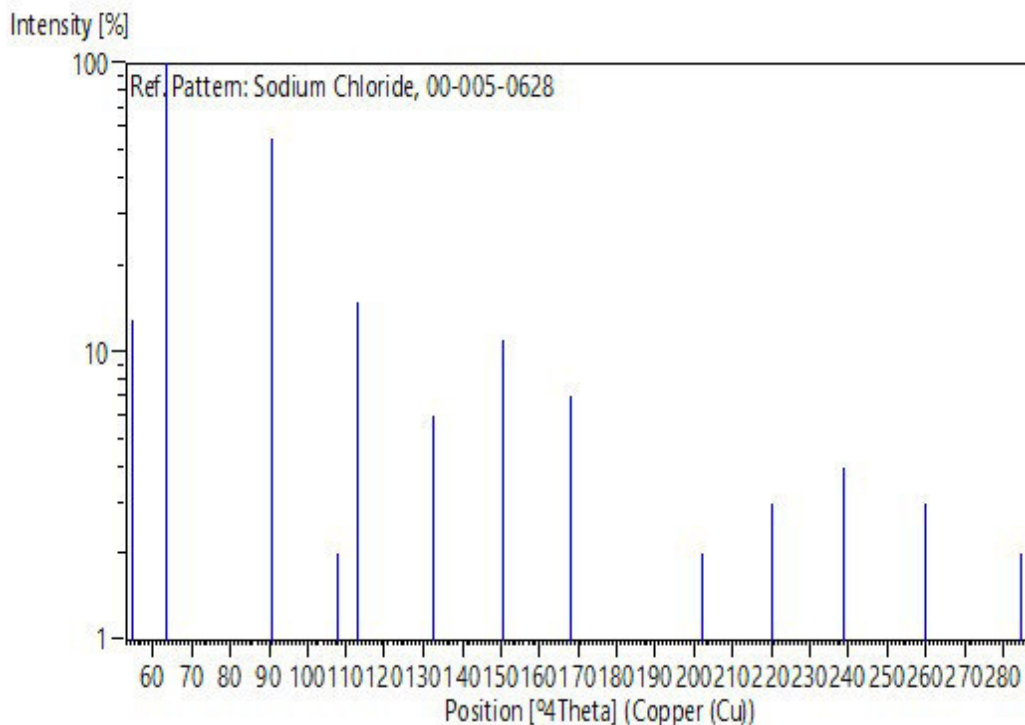
**References**

Primary reference: Swanson, Fuyat., Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, <sup>II</sup>, 41, (1953)  
 Optical data: Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., <sup>II</sup>, 4

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	3,26000	27,335	13,0
2	2	0	0	2,82100	31,693	100,0
3	2	2	0	1,99400	45,450	55,0
4	3	1	1	1,70100	53,854	2,0
5	2	2	2	1,62800	56,479	15,0
6	4	0	0	1,41000	66,229	6,0
7	3	3	1	1,29400	73,066	1,0
8	4	2	0	1,26100	75,304	11,0
9	4	2	2	1,15150	83,973	7,0
10	5	1	1	1,08550	90,409	1,0
11	4	4	0	0,99690	101,193	2,0
12	5	3	1	0,95330	107,809	1,0
13	6	0	0	0,94010	110,046	3,0
14	6	2	0	0,89170	119,505	4,0
15	5	3	3	0,86010	127,170	1,0
16	6	2	2	0,85030	129,894	3,0
17	4	4	4	0,81410	142,240	2,0

**Stick Pattern**



## **Name and formula**

Reference code: 00-006-0694  
Mineral name: Chromium, syn  
Compound name: Chromium  
PDF index name: Chromium  
Empirical formula: Cr  
Chemical formula: Cr

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Im-3m  
Space group number: 229  
a (Å): 2,8839  
b (Å): 2,8839  
c (Å): 2,8839  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 7,20  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 23,99  
Z: 2,00  
RIR: 4,41

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
Inorganic  
Mineral  
NBS pattern  
Quality: Star (S)

## **Comments**

Color: Gray metallic  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Color: Gray metallic  
Analysis: Spectroscopic analysis: <0.1% Si; 0.01% Cu, Mn, Sn; <0.001% Ag, Fe. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 25 C. Sample Preparation: Sample was electro-deposited from purified salts, crushed and acid washed for 10 days. Annealed in hydrogen then helium at 1200 C, cooled 100 C per hour to room temperature in helium atmosphere.

## **References**

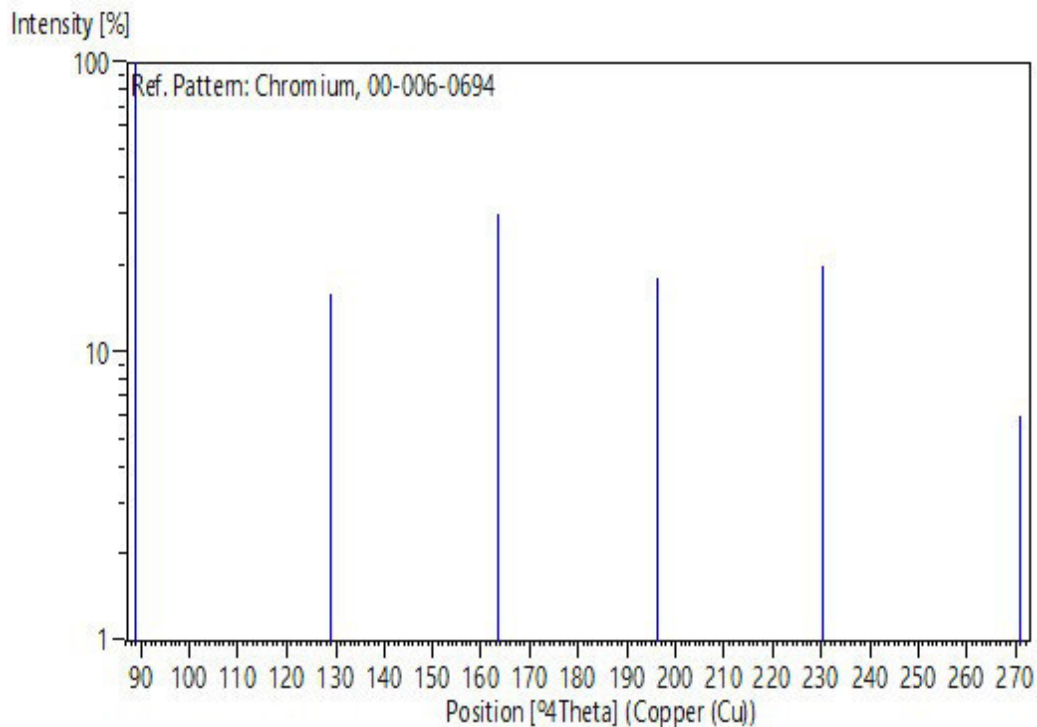
Primary reference:

Swanson et al., Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, **V**, 20, (1955)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2,03900	44,393	100,0
2	2	0	0	1,44190	64,583	16,0
3	2	1	1	1,17740	81,724	30,0
4	2	2	0	1,01950	98,150	18,0
5	3	1	0	0,91200	115,264	20,0
6	2	2	2	0,83250	135,423	6,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-033-1161  
Mineral name: Quartz, syn  
Compound name: Silicon Oxide  
Common name: low quartz  
PDF index name: Silicon Oxide  
Empirical formula: O<sub>2</sub>Si  
Chemical formula: SiO<sub>2</sub>

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Hexagonal  
Space group: P3221  
Space group number: 154

a (Å): 4,9134  
b (Å): 4,9134  
c (Å): 5,4053  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,65  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 2,66  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 113,01  
Z: 3,00

RIR: 3,60

## **Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Cement and Hydration Product  
Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
Inorganic  
Mineral  
NBS pattern  
Quality: Star (S)

## **Comments**

Color: Colorless  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Optical Data: B=1.544, Q=1.553, Sign=+  
Color: Colorless  
Sample Source or Locality: Sample from the Glass Section at NBS, Gaithersburg, Maryland, USA, ground single-crystals of optical quality  
Additional Patterns: To replace 5-490 and validated by calculated pattern  
Additional Diffraction Lines: Plus 6 additional reflections to 0.9089

Temperature of Data Collection: Pattern taken at 25 C. Pattern reviewed by Holzer, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ., Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grant-in-Aid(1990). Agrees well with experimental and calculated patterns

Deleted Or Rejected By: Deleted by 46-1045, higher  $F_N$ , more complete, LRB 1/95

Additional Patterns: See ICSD 62405, 70005, 70006, 70007, 71392 (PDF 78-1253, 80-2146, 80-2147, 80-2148, 81-65).

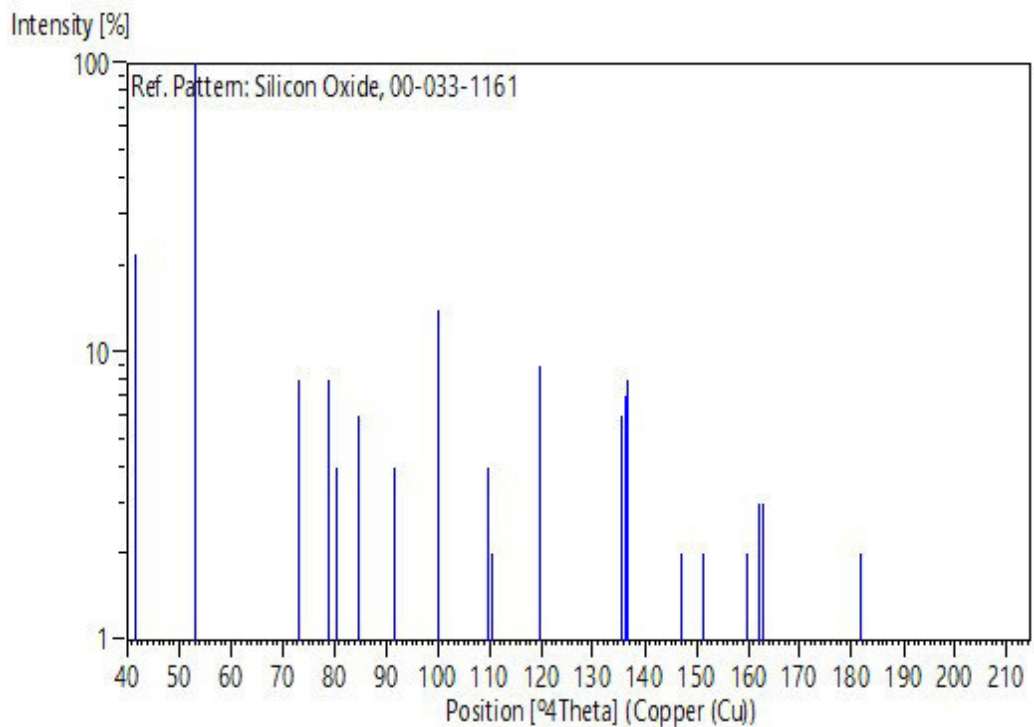
## References

Primary reference: Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, **18**, 61, (1981)  
Optical data: Swanson, Fuyat., Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, **3**, 24, (1954)

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4,25700	20,850	22,0
2	1	0	1	3,34200	26,652	100,0
3	1	1	0	2,45700	36,542	8,0
4	1	0	2	2,28200	39,456	8,0
5	1	1	1	2,23700	40,284	4,0
6	2	0	0	2,12700	42,465	6,0
7	2	0	1	1,97920	45,809	4,0
8	1	1	2	1,81790	50,141	14,0
9	0	0	3	1,80210	50,611	1,0
10	2	0	2	1,67190	54,869	4,0
11	1	0	3	1,65910	55,328	2,0
12	2	1	0	1,60820	57,238	1,0
13	2	1	1	1,54180	59,949	9,0
14	1	1	3	1,45360	64,001	1,0
15	3	0	0	1,41890	65,761	1,0
16	2	1	2	1,38200	67,750	6,0
17	2	0	3	1,37520	68,131	7,0
18	3	0	1	1,37180	68,323	8,0
19	1	0	4	1,28800	73,462	2,0
20	3	0	2	1,25580	75,671	2,0
21	2	2	0	1,22850	77,662	1,0
22	2	1	3	1,19990	79,878	2,0
23	2	2	1	1,19780	80,046	1,0
24	1	1	4	1,18430	81,148	3,0
25	3	1	0	1,18040	81,472	3,0
26	3	1	1	1,15320	83,821	1,0
27	2	0	4	1,14050	84,971	1,0
28	3	0	3	1,11430	87,464	1,0
29	3	1	2	1,08130	90,858	2,0
30	4	0	0	1,06350	92,822	1,0
31	1	0	5	1,04760	94,665	1,0
32	4	0	1	1,04380	95,119	1,0
33	2	1	4	1,03470	96,227	1,0
34	2	2	3	1,01500	98,738	1,0
35	4	0	2	0,98980	102,199	1,0
36	3	1	3	0,98730	102,559	1,0
37	3	0	4	0,97830	103,884	1,0
38	3	2	0	0,97620	104,199	1,0
39	2	0	5	0,96360	106,145	1,0

## Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-035-0816  
Mineral name: Fluorite, syn  
Compound name: Calcium Fluoride  
PDF index name: Calcium Fluoride  
Empirical formula:  $\text{CaF}_2$   
Chemical formula:  $\text{CaF}_2$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Fm-3m  
Space group number: 225  
a (Å): 5,4630  
b (Å): 5,4630  
c (Å): 5,4630  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 163,04  
Z: 4,00  
RIR: 2,40

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
Inorganic  
Mineral  
NBS pattern  
Quality: Star (S)

## **Comments**

Color: Colorless  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Sample Source or Locality: The sample was obtained from the U.S. Geological Survey  
Color: Colorless. These data were recollected to add weak peaks missing in the earlier pattern  
Temperature of Data Collection: The mean temperature of data collection was 24.5 C  
Additional Patterns: To replace 4-864  
Optical Data:  $B=1.433$   
Additional Patterns: See ICSD 28730 (PDF 75-97); See ICSD 29008 (PDF 75-363); See ICSD 60368 (PDF 77-2093); See ICSD 60370 (PDF 77-2095); See ICSD 60559 (PDF 77-2245)  
Additional Patterns: See 77-2093 for calculated data.

## **References**

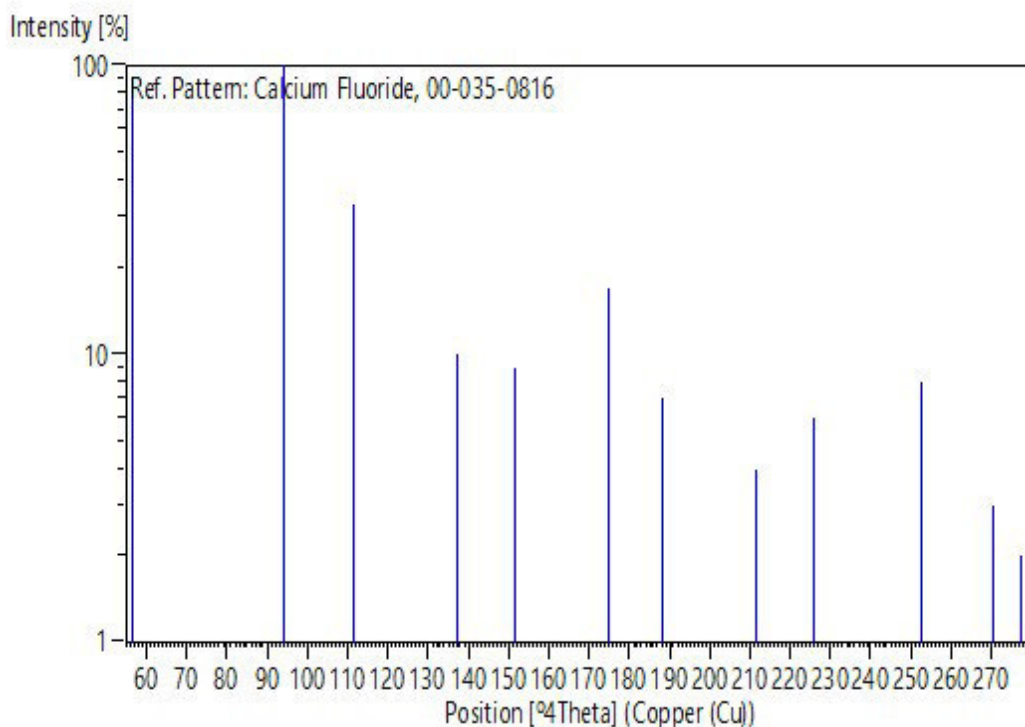


Primary reference: Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25 **21**, 52, (1985)  
Structure: Bragg, W., Proc. R. Soc. London, Ser. A, **89**, 468, (1914)  
Optical data: Swanson, Tatge., Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, **1**, 69, (1953)  
Other: Hanawalt, J. et al., Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., **10**, 457, (1938)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	3,15461	28,267	92,0
2	2	0	0	2,73141	32,761	1,0
3	2	2	0	1,93160	47,005	100,0
4	3	1	1	1,64714	55,765	33,0
5	2	2	2	1,57706	58,476	1,0
6	4	0	0	1,36563	68,674	10,0
7	3	3	1	1,25327	75,850	9,0
8	4	2	0	1,22160	78,184	1,0
9	4	2	2	1,11523	87,373	17,0
10	3	3	3	1,05140	94,217	7,0
11	4	4	0	0,96576	105,804	4,0
12	5	3	1	0,92340	113,064	6,0
13	6	0	0	0,91046	115,570	1,0
14	6	2	0	0,86375	126,202	8,0
15	5	3	3	0,83314	135,208	3,0
16	6	2	2	0,82358	138,556	2,0

### Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 01-077-2041  
Compound name: Sodium Erbium Fluoride  
ICSD name: Sodium Erbium Fluoride  
Empirical formula:  $\text{ErF}_4\text{Na}$   
Chemical formula:  $\text{NaErF}_4$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic  
Space group: Fm-3m  
Space group number: 225  
  
a (Å): 5,4650  
b (Å): 5,4650  
c (Å): 5,4650  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 5,42  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 163,22  
Z: 2,00  
  
RIR: 7,24

## Subfiles and quality

Subfiles: ICSD Pattern  
Inorganic  
Quality: Calculated (C)

## Comments

ICSD collection code: 060256  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 060256  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF missing. Controlled Massively Defective Crystalline Solutions with the Fluorite Structure.

## References

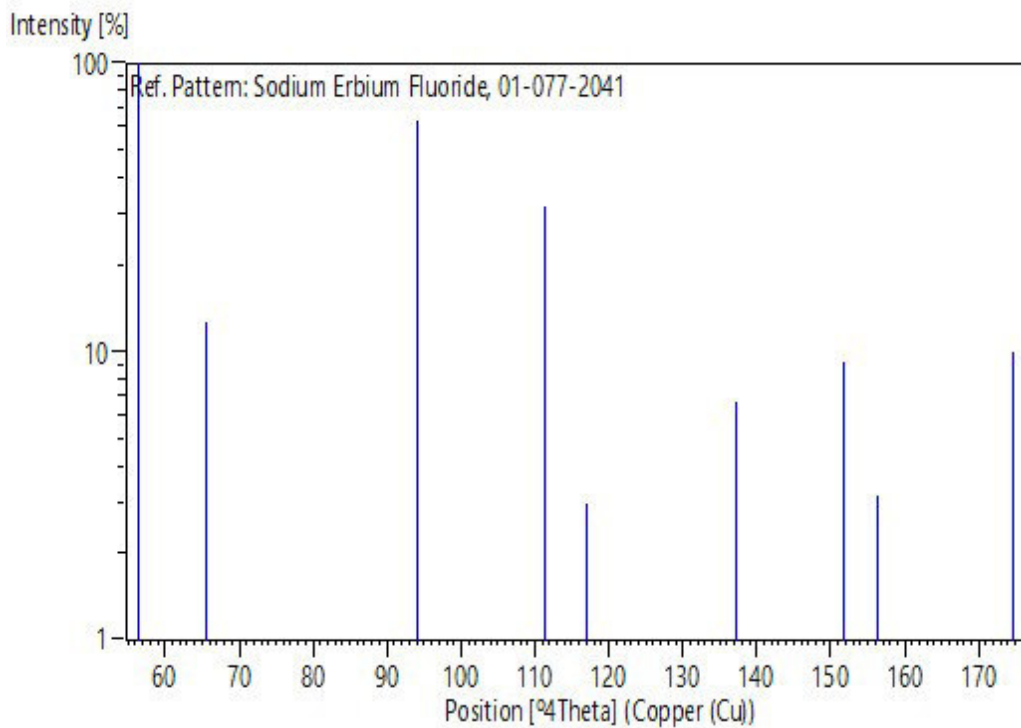
Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)  
Structure: Roy, D.M., Roy, R., J. Electrochem. Soc., **111**, 421, (1964)

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
-----	---	---	---	-------	-------------	-------

1	1	1	1	3,15522	28,261	100,0
2	2	0	0	2,73250	32,748	12,7
3	2	2	0	1,93217	46,990	63,3
4	3	1	1	1,64776	55,742	31,8
5	2	2	2	1,57761	58,454	3,0
6	4	0	0	1,36625	68,639	6,7
7	3	3	1	1,25376	75,815	9,2
8	4	2	0	1,22201	78,153	3,2
9	4	2	2	1,11554	87,342	10,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-010-0173  
Mineral name: Corundum, syn  
Compound name: Aluminum Oxide  
Common name: diamonite  
PDF index name: Aluminum Oxide  
Empirical formula:  $Al_2O_3$   
Chemical formula:  $Al_2O_3$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral  
Space group: R-3c  
Space group number: 167  
a (Å): 4,7580  
b (Å): 4,7580  
c (Å): 12,9910  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 3,99  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 4,05  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 254,70  
Z: 6,00  
RIR: 1,00

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Cement and Hydration Product  
Common Phase  
Corrosion  
Educational pattern  
Forensic  
Inorganic  
Mineral  
NBS pattern  
Superconducting Material  
Quality: Indexed (I)

## **Comments**

Color: Blue, colorless, yellow purple to violet, green, pink to deep pigeon-blood red  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Optical Data: A=1.7604, B=1.7686, Sign=-  
Melting Point: 2050°  
Color: Blue, colorless, yellow purple to violet, green, pink to deep pigeon-blood red  
Sample Preparation: Sample annealed at 1400 C for four hours in an  $Al_2O_3$  crucible  
Analysis: Spectroscopic analysis showed <0.1% K, Na, Si; <0.01% Ca, Cu, Fe, Mg, Pb; <0.001% B,

Cr, Li, Mn, Ni  
 Temperature of Data Collection: Pattern taken at 26 C  
 Common Name: Also called: ruby. Common Name: Also called: sapphire. Additional Patterns: See ICSD 60419 (PDF 77-2135). Additional Patterns: To replace 43-1484.

### References

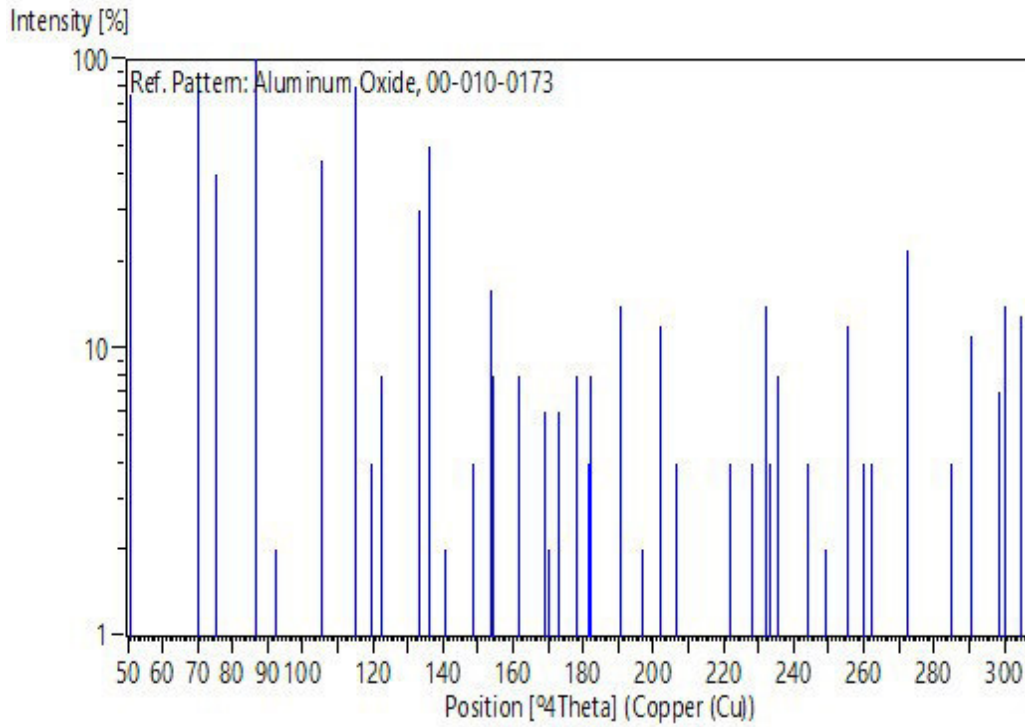
Primary reference: Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, **9**, 3, (1960)  
 Optical data: Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., <sup>1</sup>, 520

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	1	2	3,47900	25,584	75,0
2	1	0	4	2,55200	35,137	90,0
3	1	1	0	2,37900	37,785	40,0
4	0	0	6	2,16500	41,685	1,0
5	1	1	3	2,08500	43,363	100,0
6	2	0	2	1,96400	46,184	2,0
7	0	2	4	1,74000	52,553	45,0
8	1	1	6	1,60100	57,519	80,0
9	2	1	1	1,54600	59,769	4,0
10	1	2	2	1,51400	61,166	6,0
11	0	1	8	1,51000	61,345	8,0
12	2	1	4	1,40400	66,548	30,0
13	3	0	0	1,37400	68,198	50,0
14	1	2	5	1,33700	70,359	2,0
15	2	0	8	1,27600	74,268	4,0
16	1	0	10	1,23900	76,882	16,0
17	1	1	9	1,23430	77,229	8,0
18	2	2	0	1,18980	80,695	8,0
19	3	0	6	1,16000	83,219	1,0
20	2	2	3	1,14700	84,378	6,0
21	1	3	1	1,13820	85,184	2,0
22	3	1	2	1,12550	86,378	6,0
23	1	2	8	1,12460	86,464	4,0
24	0	2	10	1,09880	89,021	8,0
25	0	0	12	1,08310	90,665	4,0
26	1	3	4	1,07810	91,204	8,0
27	2	2	6	1,04260	95,263	14,0
28	0	4	2	1,01750	98,410	2,0
29	2	1	10	0,99760	101,095	12,0
30	1	1	12	0,98570	102,792	1,0
31	4	0	4	0,98190	103,349	4,0
32	3	2	1	0,94310	109,526	1,0
33	1	2	11	0,94130	109,837	1,0
34	3	1	8	0,93450	111,033	4,0
35	2	2	9	0,91780	114,130	4,0
36	3	2	4	0,90760	116,146	14,0
37	0	1	14	0,90520	116,635	4,0
38	4	1	0	0,89910	117,906	8,0
39	2	3	5	0,88840	120,239	1,0
40	4	1	3	0,88040	122,077	4,0
41	0	4	8	0,86980	124,652	2,0
42	1	3	10	0,85800	127,737	12,0
43	3	0	12	0,85020	129,923	4,0
44	2	0	14	0,84600	131,155	4,0

45	1	4	6	0,83030	136,170	22,0
46	1	1	15	0,81370	142,405	4,0
47	4	0	10	0,80720	145,218	11,0
48	0	5	4	0,79880	149,298	7,0
49	1	0	16	0,79700	150,255	14,0
50	3	3	0	0,79310	152,457	13,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-038-1479  
Mineral name: Eskolaite, syn  
Compound name: Chromium Oxide  
Common name: chrome green  
PDF index name: Chromium Oxide  
Empirical formula:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$   
Chemical formula:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral  
Space group: R-3c  
Space group number: 167  
a (Å): 4,9588  
b (Å): 4,9588  
c (Å): 13,5942  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 5,23  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 289,49  
Z: 6,00  
RIR: 1,80

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Common Phase  
Corrosion  
Educational pattern  
Forensic  
Inorganic  
Mineral  
NBS pattern  
Pigment/Dye  
Quality: Star (S)

## **Comments**

Color: Dark grayish yellow-green  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Sample Preparation: Chromium nitrate hydrate,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , was heated to 500 C for 4 hours then annealed at 1200 C for 1 day in a chromium crucible  
Color: Dark grayish yellow-green  
Structures: The structure of chromium oxide was determined by Wretblad (1) and later on was redetermined by Saalfeld (2)  
Temperature of Data Collection: The mean temperature of data collection was 26.1 C  
Additional Patterns: To replace 6-504, Swanson et al. (3)

22:54:44

Powder Data:

Further literature citations may be found in reference 3

Additional Patterns:

See ICSD 202619 (PDF 84-1616); See ICSD 75577 (PDF 82-1465); See ICSD 201102 (PDF 84-312).

## References

Primary reference:

McMurdie, H., Morris, M., Evans, E., Paretzkin, B., Wong-Ng, W., Zhang, Y., Powder Diffraction, **2**, 45, (1987)

Structure:

(2) Saalfeld, H., Z. Kristallogr., Kristallgeom., Kristallphys., Kristallchem., **120**, 342, (1964)

Other:

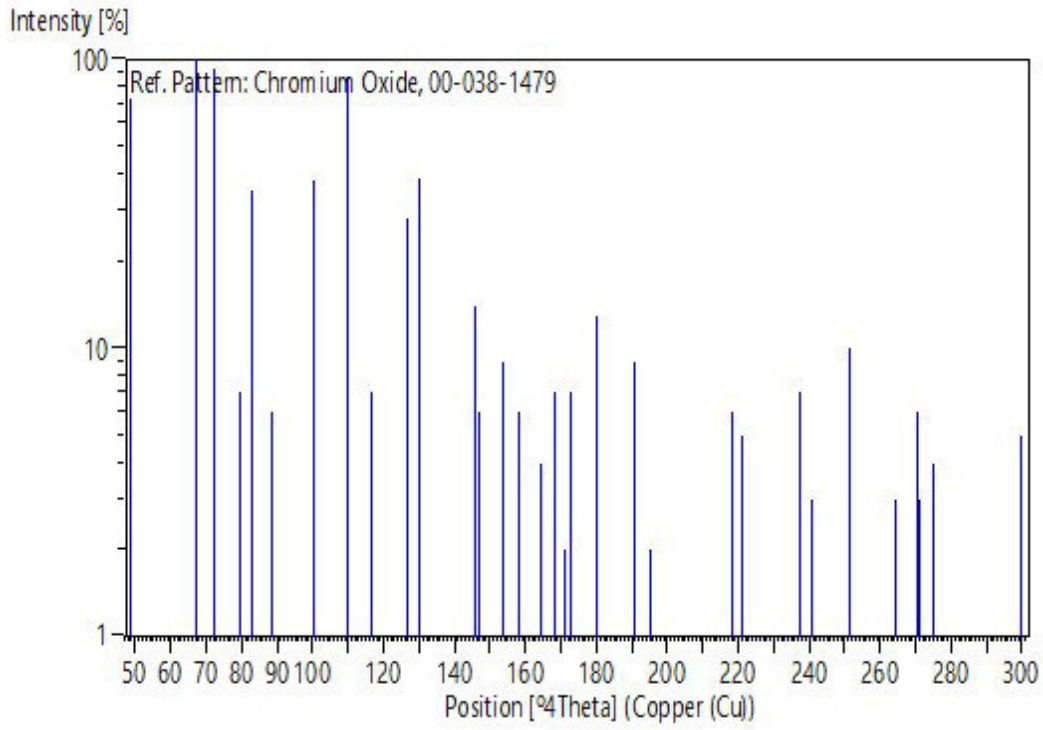
(3) Swanson, H., Gilfrich, N., Ugrinic, G., Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, **5**, 22, (1955)

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3,63132	24,494	73,0
2	1	0	4	2,66533	33,597	100,0
3	1	1	0	2,47969	36,196	93,0
4	0	0	6	2,26585	39,749	7,0
5	1	1	3	2,17520	41,480	35,0
6	2	0	2	2,04771	44,194	6,0
7	0	2	4	1,81521	50,220	38,0
8	1	1	6	1,67237	54,852	87,0
9	2	1	1	1,61147	57,111	1,0
10	1	2	2	1,57901	58,397	7,0
11	2	1	4	1,46491	63,449	28,0
12	3	0	0	1,43157	65,106	39,0
13	1	0	10	1,29586	72,944	14,0
14	1	1	9	1,29001	73,329	6,0
15	2	2	0	1,23943	76,851	9,0
16	3	0	6	1,21030	79,056	6,0
17	2	2	3	1,19589	80,200	1,0
18	3	1	2	1,17305	82,092	4,0
19	0	2	10	1,14854	84,239	7,0
20	0	0	12	1,13285	85,682	2,0
21	1	3	4	1,12382	86,539	7,0
22	2	2	6	1,08745	90,202	13,0
23	0	4	2	1,06024	93,193	1,0
24	2	1	10	1,04206	95,328	9,0
25	1	1	12	1,03062	96,734	1,0
26	4	0	4	1,02384	97,591	2,0
27	2	3	2	0,97497	104,385	1,0
28	2	2	9	0,95828	106,995	1,0
29	3	2	4	0,94627	108,985	6,0
30	4	1	0	0,93701	110,588	5,0
31	4	1	3	0,91772	114,145	1,0
32	1	3	10	0,89581	118,608	7,0
33	3	0	12	0,88827	120,267	3,0
34	2	0	14	0,88469	121,081	1,0
35	4	1	6	0,86598	125,624	10,0
36	4	0	10	0,84263	132,174	3,0
37	2	2	12	0,83631	134,164	1,0
38	1	2	14	0,83324	135,174	6,0
39	0	5	4	0,83268	135,363	3,0
40	3	3	0	0,82648	137,504	4,0
41	3	2	10	0,79776	149,845	5,0



### Stick Pattern



### Name and formula

Reference code: 00-024-0072

Mineral name: Hematite

Compound name: Iron Oxide

PDF index name: Iron Oxide

Empirical formula: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Chemical formula: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral

Space group: R-3

Space group number: 148

a (Å): 5,0380

b (Å): 5,0380

c (Å): 13,7720

Alpha (°): 90,0000

Beta (°): 90,0000

Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 5,26

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 302,72

Z: 6,00

RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Mineral  
Pharmaceutical

Quality: Calculated (C)

### Comments

Creation Date: 01/01/1970

Modification Date: 01/01/1970

Deleted Or Rejected By: Deleted by 33-664.

### References

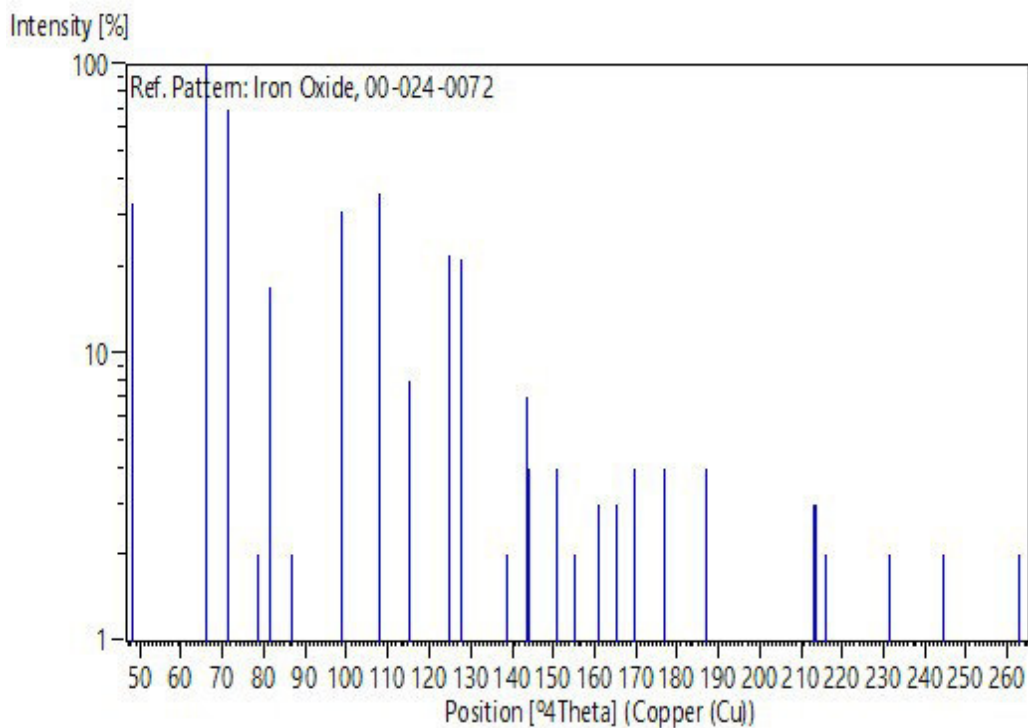
Primary reference: Blake et al., Am. Mineral., **51**, 123, (1966)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	1	2	3,68600	24,125	33,0

2	1	0	4	2,70300	33,115	100,0
3	1	1	0	2,51900	35,612	70,0
4	0	0	6	2,29500	39,223	2,0
5	1	1	3	2,20800	40,836	17,0
6	2	0	2	2,08000	43,473	2,0
7	0	2	4	1,84280	49,417	31,0
8	1	1	6	1,69660	54,005	36,0
9	1	2	2	1,60130	57,508	8,0
10	2	1	4	1,48730	62,385	22,0
11	3	0	0	1,45430	63,966	21,0
12	2	0	8	1,35140	69,501	2,0
13	1	0	10	1,31330	71,823	7,0
14	1	1	9	1,30780	72,173	4,0
15	2	2	0	1,25950	75,409	4,0
16	3	0	6	1,22850	77,662	2,0
17	3	1	2	1,19080	80,613	3,0
18	0	2	10	1,16450	82,827	3,0
19	1	3	4	1,14160	84,870	4,0
20	2	2	6	1,10420	88,471	4,0
21	2	1	10	1,05710	93,554	4,0
22	3	2	4	0,96110	106,543	3,0
23	0	1	14	0,95960	106,783	3,0
24	4	1	0	0,95210	108,007	2,0
25	1	3	10	0,90900	115,863	2,0
26	4	1	6	0,87940	122,312	2,0
27	1	2	14	0,84480	131,514	2,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-006-0329  
Compound name: Praseodymium Oxide  
PDF index name: Praseodymium Oxide  
Empirical formula:  $O_{1.83}Pr$   
Chemical formula:  $PrO_{1.83}$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Fm-3m  
Space group number: 225  
  
a (Å): 5,4695  
b (Å): 5,4695  
c (Å): 5,4695  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
  
Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 163,62  
Z: 4,00  
  
RIR: -

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Quality: Indexed (I)

## **Comments**

Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Sample Source or Locality: Sample from Johnson Matthey Company, Ltd  
Analysis: Spectroscopic analysis: <0.001% Mg, Ca; <0.0001% Cu, Sn, Al. Sample Preparation: Heated to 800 C in air. Temperature of Data Collection: X-ray pattern at 26 C.

## **References**

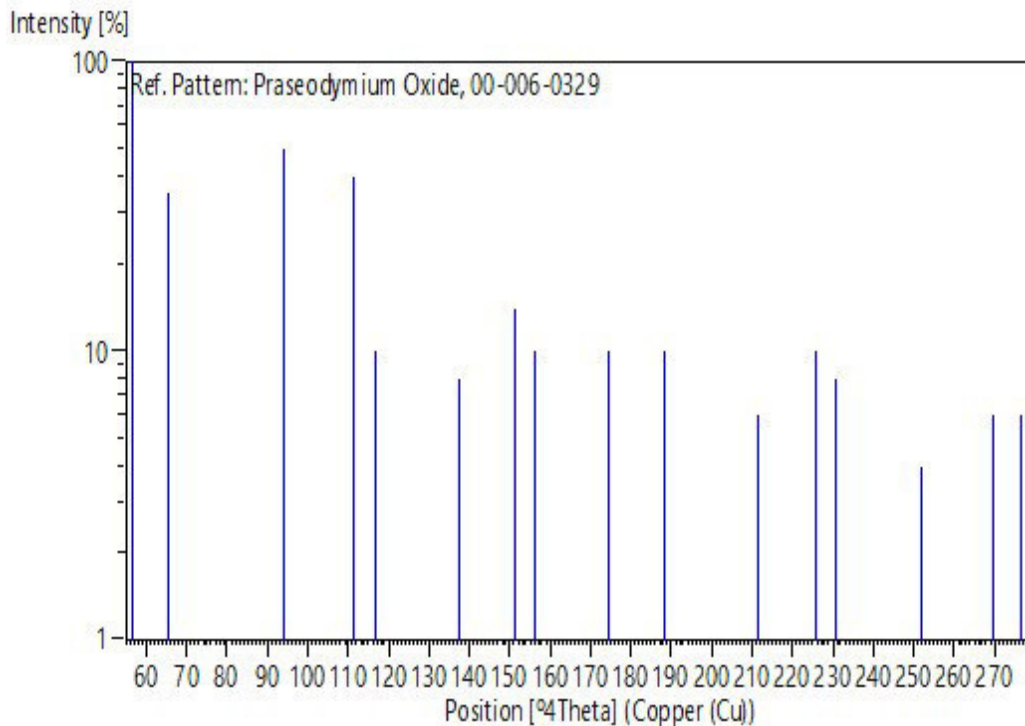
Primary reference: Swanson et al., Natl. Bur. Stand. Annual Report, 2779, (1953)

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	3,15400	28,273	100,0
2	2	0	0	2,73400	32,729	35,0
3	2	2	0	1,93360	46,953	50,0
4	3	1	1	1,64860	55,711	40,0
5	2	2	2	1,57880	58,406	10,0

6	4	0	0	1,36670	68,613	8,0
7	3	3	1	1,25460	75,756	14,0
8	4	2	0	1,22310	78,070	10,0
9	4	2	2	1,11630	87,268	10,0
10	5	1	1	1,05270	94,064	10,0
11	4	4	0	0,96680	105,642	6,0
12	5	3	1	0,92450	112,859	10,0
13	6	0	0	0,91150	115,363	8,0
14	6	2	0	0,86480	125,929	4,0
15	5	3	3	0,83410	134,890	6,0
16	6	2	2	0,82460	138,182	6,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 01-075-0134  
Compound name: Uranium Oxide  
ICSD name: Uranium Oxide  
Empirical formula:  $O_2^U$   
Chemical formula:  $UO_2$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Fm-3m  
Space group number: 225  
  
a (Å): 5,4690  
b (Å): 5,4690  
c (Å): 5,4690  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 10,96  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 10,90  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 163,58  
Z: 4,00  
  
RIR: 23,72

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
ICSD Pattern  
Inorganic  
Quality: Calculated (C)

## **Comments**

ICSD collection code: 028767  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
ICSD Collection Code: 028767  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF missing. Ueber das Ceruranblau und Mischkristalle im System Ce O<sub>2</sub> - U O<sub>2</sub> - U<sub>3</sub> O<sub>8</sub>.

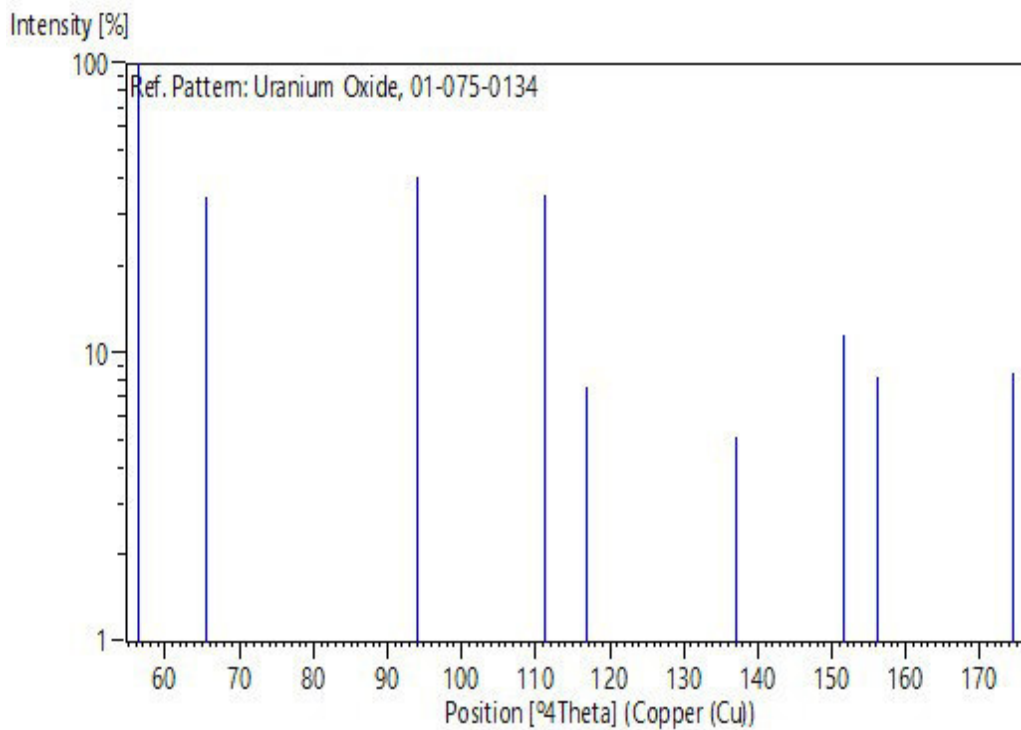
## **References**

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)  
Structure: Ruedorff, W., Valet, G., Z. Anorg. Allg. Chem., **271**, 257, (1953)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	3,15753	28,240	100,0
2	2	0	0	2,73450	32,723	34,6
3	2	2	0	1,93358	46,954	40,6
4	3	1	1	1,64897	55,698	35,1
5	2	2	2	1,57876	58,407	7,6
6	4	0	0	1,36725	68,582	5,1
7	3	3	1	1,25467	75,751	11,5
8	4	2	0	1,22291	78,084	8,3
9	4	2	2	1,11635	87,263	8,5

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-027-1402  
Mineral name: Silicon, syn  
Compound name: Silicon  
PDF index name: Silicon  
Empirical formula: Si  
Chemical formula: Si

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: Fd-3m  
Space group number: 227  
a (Å): 5,4309  
b (Å): 5,4309  
c (Å): 5,4309  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,33  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 160,18  
Z: 8,00  
RIR: 4,70

## **Subfiles and quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
Inorganic  
Mineral  
Quality: Star (S)

## **Comments**

Color: Gray  
Creation Date: 01/01/1970  
Modification Date: 01/01/1970  
Temperature of Data Collection: Pattern taken at 25(1) C  
Sample Source or Locality: This sample is NBS Standard Reference Material No. 640. Reflections calculated from precision measurement of  $a_0$ .  $a_0$  uncorrected for refraction  
Additional Patterns: To replace 5-565 and 26-1481  
Color: Gray.

## **References**

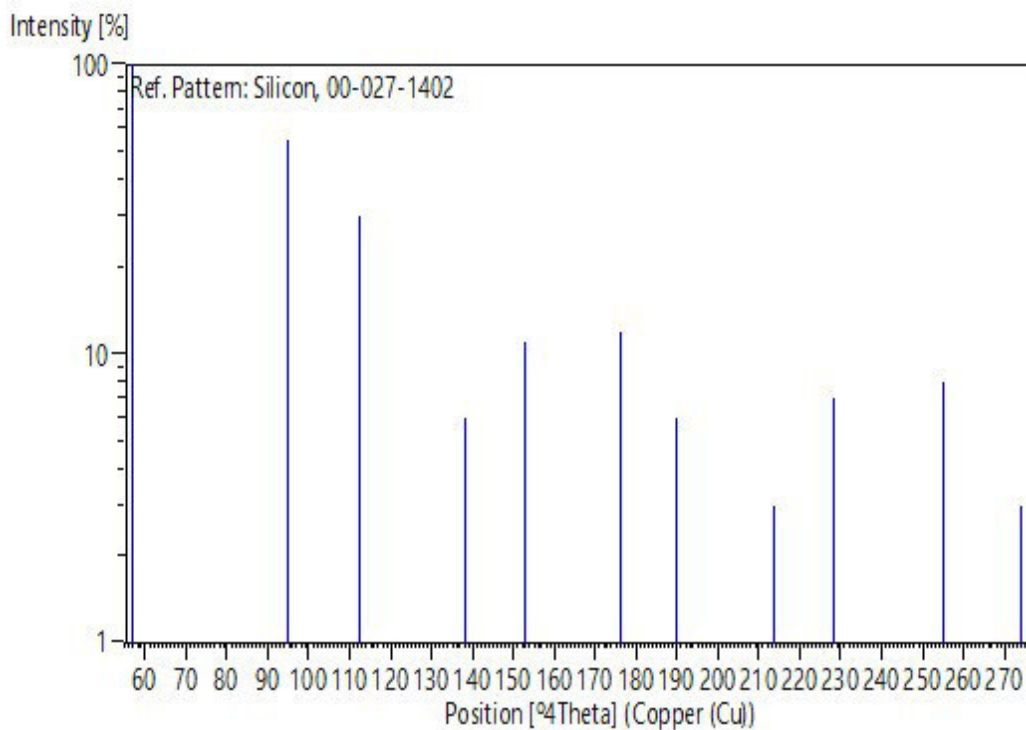
Primary reference: Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, **13**, 35, (1976)



### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	3,13550	28,443	100,0
2	2	2	0	1,92010	47,304	55,0
3	3	1	1	1,63750	56,122	30,0
4	4	0	0	1,35770	69,132	6,0
5	3	3	1	1,24590	76,380	11,0
6	4	2	2	1,10860	88,029	12,0
7	5	1	1	1,04520	94,951	6,0
8	4	4	0	0,96000	106,719	3,0
9	5	3	1	0,91800	114,092	7,0
10	6	2	0	0,85870	127,547	8,0
11	5	3	3	0,82820	136,898	3,0

### Stick Pattern



**ANEXO 7. RESULTADOS DE ENSAYOS DE REACTIVIDAD ÁLCALI  
AGREGADO CASO B**

**ENSAYO DE REACTIVIDAD ALCALI AGREGADO- CASO B**  
Fuente : INAR ASOCIADOS S.A.

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 (No. 8)	10
2,36 (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para todas las mezclas se utilizó 1 parte de material cementante por 2.25 partes de agregado. La granulometría se ajustó a los requerimientos de la normativa, por lo que fue necesario triturarlo y tamizarlo según la curva definida en la norma. La relación agua cementante para todas las mezclas fue de 0.47; sin embargo, para las muestras en las que se usó material suplementario fue necesario utilizar un aditivo superplastificante. La fluidez total de las muestras adicionadas se mantuvo en rangos de  $\pm 7$  la fluidez de la mezcla sin adiciones. Para cada mezcla se prepararon 3 probetas.

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ALCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ALCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1**  
Agregado del Cuenco  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (93%)  
Humo de sílice (7%)

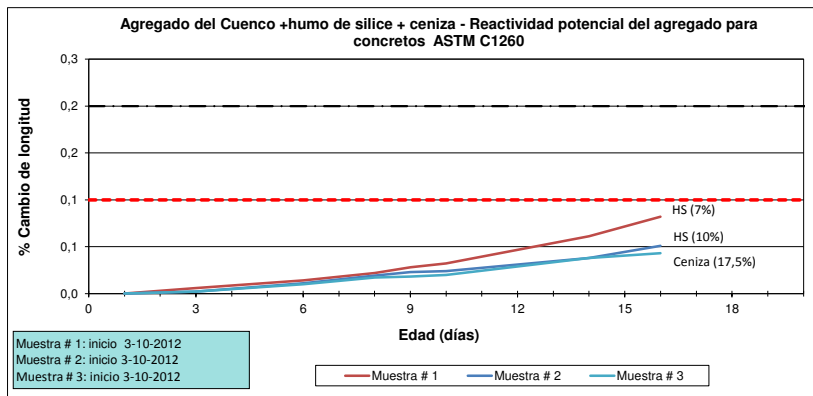
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
03/10/2012	1	0.0000
05/10/2012	3	0.006
08/10/2012	6	0.014
10/10/2012	8	0.022
11/10/2012	9	0.028
12/10/2012	10	0.032
16/10/2012	14	0.061
18/10/2012	16	0.082

**Muestra # 2**  
Agregado del Cuenco  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (90%)  
Humo de sílice (10%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
03/10/2012	1	0.0000
05/10/2012	3	0.002
08/10/2012	6	0.011
10/10/2012	8	0.019
11/10/2012	9	0.023
12/10/2012	10	0.024
16/10/2012	14	0.038
18/10/2012	16	0.051

**Muestra # 3**  
Agregado del Cuenco  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (82,5%)  
Ceniza termotasajero (17,5%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
03/10/2012	1	0.0000
05/10/2012	3	0.002
08/10/2012	6	0.01
10/10/2012	8	0.017
11/10/2012	9	0.018
12/10/2012	10	0.02
16/10/2012	14	0.038
18/10/2012	16	0.043



**Muestra # 4**  
Agregados La fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I  
Humo de sílice (7%)

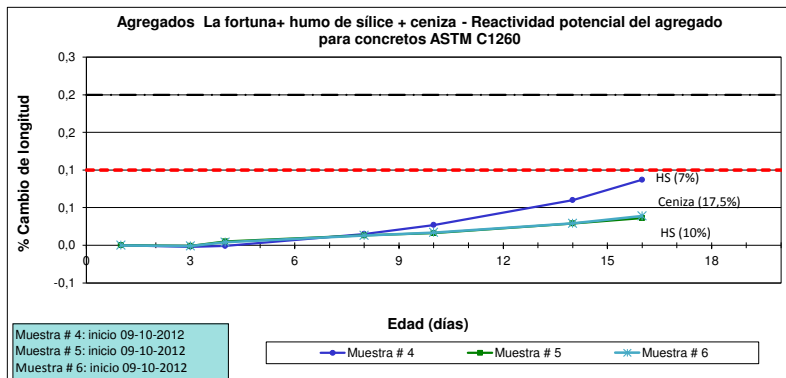
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
09/10/2012	1	0.0000
11/10/2012	3	-0.002
12/10/2012	4	-0.001
16/10/2012	8	0.015
18/10/2012	10	0.027
22/10/2012	14	0.06
24/10/2012	16	0.087

**Muestra # 5**  
Agregados La fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (90%)  
Humo de sílice (10%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
09/10/2012	1	0.0000
11/10/2012	3	-0.001
12/10/2012	4	0.005
16/10/2012	8	0.013
18/10/2012	10	0.016
22/10/2012	14	0.029
24/10/2012	16	0.036

**Muestra # 6**  
Agregados La fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (82,5%)  
Ceniza termotasajero (17,5%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
09/10/2012	1	0.0000
11/10/2012	3	-0.001
12/10/2012	4	-0.004
16/10/2012	8	0.013
18/10/2012	10	0.017
22/10/2012	14	0.029
24/10/2012	16	0.039



**ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO- CASO B**  
Fuente : INAR ASOCIADOS S.A.

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,36 ( No. 8)	10
2,36 ( No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para las mezclas de mortero se utilizaron 1 parte de cemento para 2,25 partes de agregado gradado por masa; se elaboraron tres especímenes usando en total 440 g del cemento, 990 g del agregado y una relación agua/cemento = 0,47. Se utilizó solución de NaO

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1**  
Arena la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I

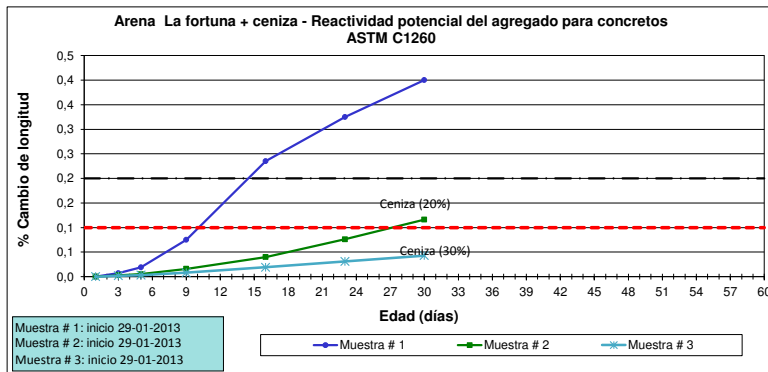
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
29/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	3	0,007
02/02/2013	5	0,019
06/02/2013	9	0,075
13/02/2013	16	0,235
20/02/2013	23	0,325
27/02/2013	30	0,4

**Muestra # 2**  
Arena la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 80%)  
Ceniza termotasajero (20%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
29/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	3	0,003
02/02/2013	5	0,005
06/02/2013	9	0,016
13/02/2013	16	0,04
20/02/2013	23	0,076
27/02/2013	30	0,116

**Muestra # 3**  
Arena la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 70%)  
Ceniza termotasajero (30%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
29/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	3	0,002
02/02/2013	5	0,003
06/02/2013	9	0,008
13/02/2013	16	0,019
20/02/2013	23	0,031
27/02/2013	30	0,043

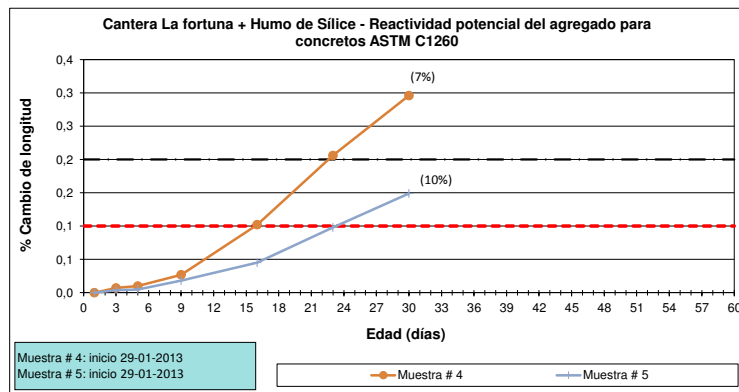


**Muestra # 4**  
Arena la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 93%)  
Humo de sílice (7%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
29/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	3	0,007
02/02/2013	5	0,01
06/02/2013	9	0,027
13/02/2013	16	0,102
20/02/2013	23	0,206
27/02/2013	30	0,296

**Muestra # 5**  
Arena la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 90%)  
Humo de sílice (10%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
29/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	3	0,004
02/02/2013	5	0,005
06/02/2013	9	0,018
13/02/2013	16	0,045
20/02/2013	23	0,098
27/02/2013	30	0,149



**Muestra # 6**  
Grava la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (100%)

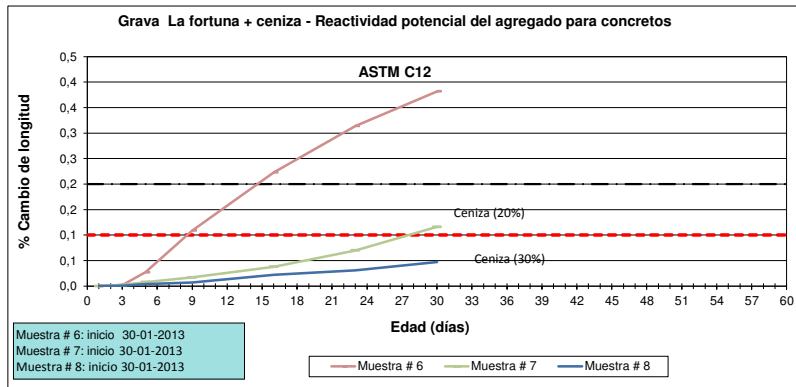
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,0000
01/02/2013	3	0,002
02/02/2013	5	0,027
06/02/2013	9	0,109
13/02/2013	16	0,223
20/02/2013	23	0,314
27/02/2013	30	0,382

**Muestra # 7**  
Grava la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (80%)  
Ceniza termotasajero (20%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,0000
01/02/2013	3	0,002
02/02/2013	5	0,008
06/02/2013	9	0,017
13/02/2013	16	0,038
20/02/2013	23	0,07
27/02/2013	30	0,116

**Muestra # 8**  
Grava la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (70%)  
Ceniza termotasajero (30%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
31/01/2013	1	0,0000
01/02/2013	3	0,001
02/02/2013	5	0,004
06/02/2013	9	0,007
13/02/2013	16	0,022
20/02/2013	23	0,031
27/02/2013	30	0,047

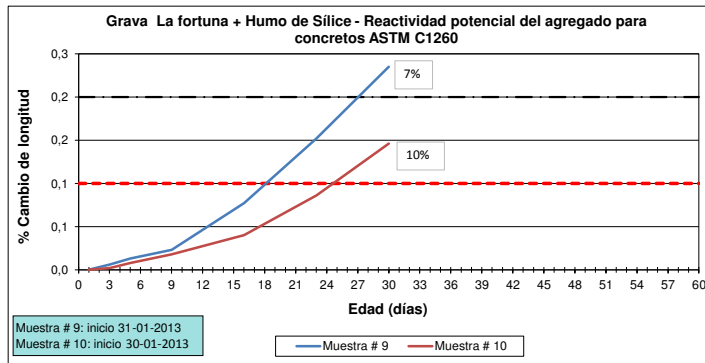


**Muestra # 9**  
Grava la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (93%)  
Humo de silice (7%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
31/01/2013	1	0,0000
02/02/2013	3	0,006
04/02/2013	5	0,013
08/02/2013	9	0,023
15/02/2013	16	0,077
22/02/2013	23	0,152
01/03/2013	30	0,235

**Muestra # 10**  
Grava la fortuna  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (90%)  
Humo de silice (10%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,0000
01/02/2013	3	0,002
04/02/2013	5	0,008
08/02/2013	9	0,018
15/02/2013	16	0,04
22/02/2013	23	0,086
01/03/2013	30	0,146



**Muestra # 11**  
Grava el Cuenco  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 100%)

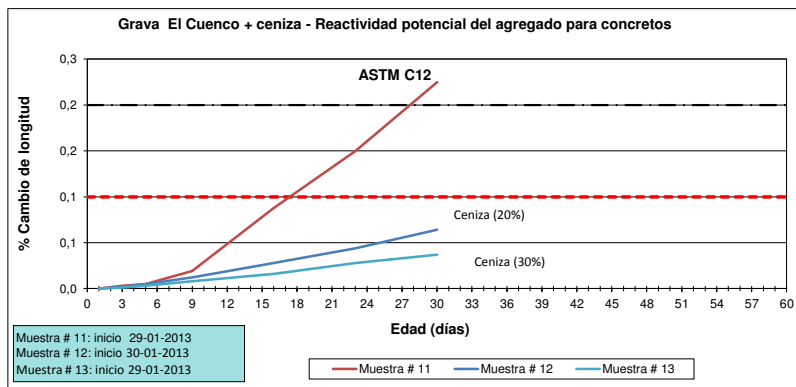
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
29/01/2013	1	0,000
31/01/2013	3	0,003
02/02/2013	5	0,005
06/02/2013	9	0,019
13/02/2013	16	0,088
20/02/2013	23	0,15
27/02/2013	30	0,225

**Muestra # 12**  
Grava el Cuenco  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 80%)  
Ceniza termotasajero (20%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,000
01/02/2013	3	0,002
03/02/2013	5	0,005
07/02/2013	9	0,012
14/02/2013	16	0,028
21/02/2013	23	0,044
28/02/2013	30	0,064

**Muestra # 13**  
Grava el Cuenco  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 70%)  
Ceniza termotasajero (30%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
29/01/2013	1	0,000
31/01/2013	3	0,001
02/02/2013	5	0,003
06/02/2013	9	0,008
13/02/2013	16	0,016
20/02/2013	23	0,028
27/02/2013	30	0,037

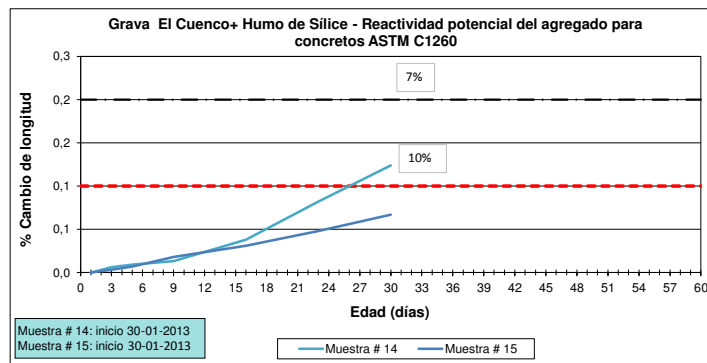


**Muestra # 14**  
Grava el Cuenco  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 93%)  
Humo de silice (7%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,000
01/02/2013	3	0,006
03/02/2013	5	0,009
07/02/2013	9	0,013
14/02/2013	16	0,038
21/02/2013	23	0,082
28/02/2013	30	0,124

**Muestra # 15**  
Grava el Cuenco  
Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 90%)  
Humo de silice (10%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,000
01/02/2013	3	0,003
04/02/2013	5	0,007
08/02/2013	9	0,018
15/02/2013	16	0,031
22/02/2013	23	0,048
01/03/2013	30	0,067



**ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI AGREGADO- CASO B**  
Fuente : INAR ASOCIADOS S.A.

El agregado se trituró para cumplir con la granulometría de la siguiente tabla:

Requisitos de gradación		
Tamaños de tamices		Masa %
Pasante	Retenido	
4,75 mm (No. 4)	2,35 (No. 8)	10
2,36 (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Para todas las mezclas se utilizó 1 parte de material cementante por 2.25 partes de agregado. La granulometría se ajustó a los requerimientos de la normativa, por lo que fue necesario triturarlo y tamizarlo según la curva definida en la norma. La relación agua cementante para todas las mezclas fue de 0.47; sin embargo, para las muestras en las que se usó material suplementario fue necesario utilizar un aditivo superplastificante. La fluidez total de las muestras adicionadas se mantuvo en rangos de  $\pm 7$  la fluidez de la mezcla sin adiciones. Para cada mezcla se prepararon 3 probetas.

**NORMAS UTILIZADAS**

ASTM C 1260-01 METODO ESTANDAR DE LA PRUEBA PARA LA REACTIVIDAD POTENCIAL DEL ÁLCALI PARA AGREGADO  
ASTM C 1567-07 METODO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE COMBINACIONES DE MATERIALES CEMENTANTES Y AGREGADOS.

Consideraciones de la interpretación de los resultados de acuerdo con el apéndice de la norma ASTM C 1260.  
Expansiones menores de 0.10% a 16 días después de empezar la prueba son indicativo de comportamiento inofensivo en la mayoría de los casos.  
Expansiones de mas de 0.20% a 16 días después de empezar la prueba son un indicativo de expansiones potenciales que pueden generar algún tipo de deterioro.

**Muestra # 1** Agregados La fortuna. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	2	0,0000
01/02/2013	3	0,006
04/02/2013	6	0,1255
06/02/2013	8	0,1612
08/02/2013	10	0,2199
11/02/2013	13	0,3244
13/02/2013	15	0,3522
14/02/2013	16	0,3735

**Muestra # 4** Agregados La fortuna. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I (82,5%), Ceniza de termotasajero (17,5%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	2	0,0000
01/02/2013	3	-0,0013
04/02/2013	6	0,0126
06/02/2013	8	0,0226
08/02/2013	10	0,0478
11/02/2013	13	0,1076
13/02/2013	15	0,1299
14/02/2013	16	0,1407

**Muestra # 2** Agregados La fortuna. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 93%), Humo de sílice (7%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	2	0,0000
01/02/2013	3	-0,0008
04/02/2013	6	0,0635
06/02/2013	8	0,0995
08/02/2013	10	0,1646
11/02/2013	13	0,2452
13/02/2013	15	0,2701
14/02/2013	16	0,2919

**Muestra # 5** Agregados La fortuna. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 80%), Ceniza de termotasajero (20%)

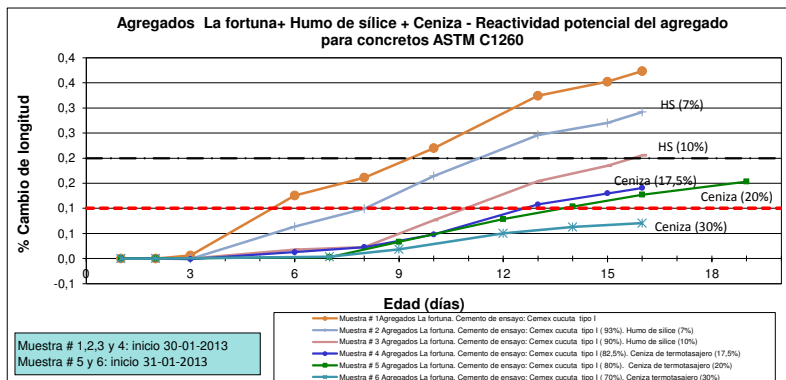
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
31/01/2013	1	0,0000
01/02/2013	2	0
06/02/2013	7	0,0029
08/02/2013	9	0,0331
11/02/2013	12	0,0785
13/02/2013	14	0,1037
15/02/2013	16	0,1273
18/02/2013	19	0,1535

**Muestra # 3** Agregados La fortuna. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 90%), Humo de sílice (10%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
30/01/2013	1	0,0000
31/01/2013	2	0,0000
01/02/2013	3	-0,0005
04/02/2013	6	0,0178
06/02/2013	8	0,0228
08/02/2013	10	0,0766
11/02/2013	13	0,1541
13/02/2013	15	0,185
14/02/2013	16	0,2055

**Muestra # 6** Agregados La fortuna. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 70%), Ceniza termotasajero (30%)

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
31/01/2013	1	0,0000
01/02/2013	2	0
06/02/2013	7	0,0037
08/02/2013	9	0,0181
11/02/2013	12	0,0501
13/02/2013	14	0,0627
15/02/2013	16	0,0703



**Muestra # 7 Agregado del Cuenco. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 100%)**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
31/01/2013	1	0,0000
01/02/2013	2	0,0000
06/02/2013	7	0,0092
08/02/2013	9	0,0428
11/02/2013	12	0,0787
13/02/2013	14	0,1031
15/02/2013	16	0,126
18/02/2013	19	0,1475

**Muestra # 8 Agregado del Cuenco. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 93%). Humo de silice (7%)**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
31/01/2013	1	0,0000
01/02/2013	2	0,0000
06/02/2013	7	0,0115
08/02/2013	9	0,0276
11/02/2013	12	0,0843
13/02/2013	14	0,1089
15/02/2013	16	0,1346
18/02/2013	19	0,1619

**Muestra # 9 Agregado del Cuenco. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 90%).Humo de silice (10%)**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
14/02/2013	1	0,0000
15/02/2013	2	0,0000
18/02/2013	5	0,0113
22/02/2013	9	0,0249
25/02/2013	12	0,0365
01/03/2013	16	0,0714

**Muestra # 10 Agregado del Cuenco. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 82,5%).Ceniza de termotasajero (17,5%)**

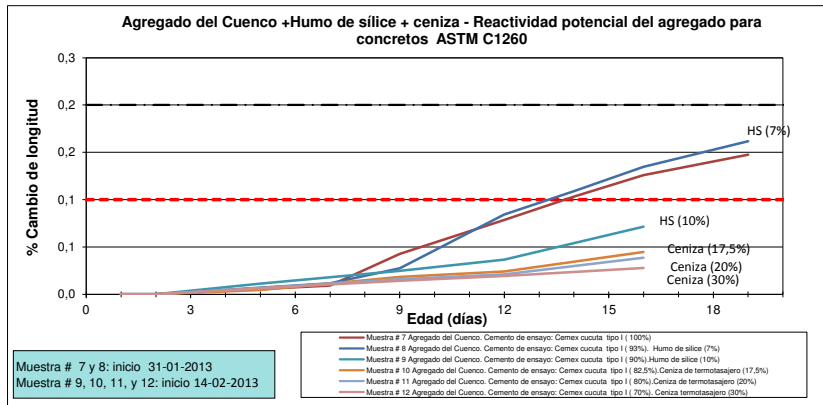
Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
14/02/2013	1	0,0000
15/02/2013	2	0,0000
18/02/2013	5	0,0045
22/02/2013	9	0,0184
25/02/2013	12	0,0241
01/03/2013	16	0,0446

**Muestra # 11 Agregado del Cuenco. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 80%).Ceniza de termotasajero (20%)**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
14/02/2013	1	0,0000
15/02/2013	2	0,0000
18/02/2013	5	0,0066
22/02/2013	9	0,016
25/02/2013	12	0,021
01/03/2013	16	0,0388

**Muestra # 12 Agregado del Cuenco. Cemento de ensayo: Cemex cucuta tipo I ( 70%). Ceniza termotasajero (30%)**

Fecha	Edad de ensayo	% Cambio de longitud
14/02/2013	1	0,0000
15/02/2013	2	0,0000
18/02/2013	5	0,0066
22/02/2013	9	0,0142
25/02/2013	12	0,0194
01/03/2013	16	0,0278





**ANEXO 8. MODELO DE FOLLETO QUE RESUME ASPECTOS  
IMPORTANTES DEL FENÓMENO DE RAA.**

## ¿Qué hacer ante la aparición del fenómeno de RAA?

### Prevención antes de instalado el concreto

- Se recomienda en los proyectos, hacer la tipificación de obras en riesgo de padecer RAA, ya que permite determinar los sitios en que el control es más relevante y su prevención o tratamiento. Ejemplo tanques, piletas, pilares de puentes, aliviaderos, canales, acueductos, plantas de tratamiento de agua potable o agua residual y todas las estructuras sumergidas o en contacto permanente o periódico con agua.
- Usar cementos con bajo contenido de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 0,6\%$ ).
- Realizar ensayos de detención temprana de la RAA de acuerdo a las normas ASTM C 1260 y NTC.
- Evaluar los resultados de los ensayos de laboratorio confirmando la reactividad potencial con diferentes técnicas mínimo ensayos químicos, ASTM C 1260 y petrografías.
- Incluir en los diseños de mezcla adiciones minerales que mitigue a futuro el efecto de la RAA, ejemplo cenizas volantes, escorias de alto horno, humo de sílice, nitrato de litio entre otros.

### Tratamiento de concreto ya fundido

- Evitar procesos de humedecimiento y secado, usando aditivos que impidan el paso del agua a través de concreto fundido o que impermeabilicen la cara expuesta del concreto.
- Colocar un parche en la superficie del concreto en etapa inicial del fenómeno, ya sea con concreto lanzado o una capa fina de concreto en la cara expuesta. De esta forma se evita el efecto del clima retrasando el deterioro.
- Sustitución del concreto dañado, utilizando concreto armado pero con un diseño de mezcla optimo que mitigue el efecto de la RAA.



Mayor información Tesis de Maestría : REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO (RAA): EXPERIENCIAS EN PRESAS COLOMBIANAS, ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRINCIPALES VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL FENÓMENO

Maestría en Construcción  
Universidad Nacional de Colombia

Ing. Leidy Johanna Melo Jimenez  
Correo: ljmeloj@unal.edu.co

ESPECIFICACIÓN PARA LA  
EVALUACIÓN Y CONTROL DE LA RAA  
EN CONCRETOS A INSTALAR EN  
OBRAS COMO PRESAS

## *Reactividad Alkali Agregado (RAA)*



La enfermedad silenciosa del concreto

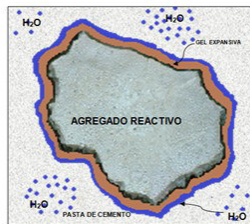
Detalle del resultado de un concreto afectado por RAA. (Piel de cocodrilo). Fuente CIP de la NRMCA

# ¿Qué es la Reactividad Alkali Agregado (RAA)?

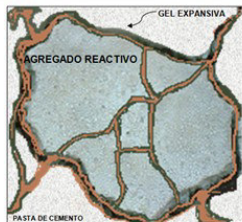
Consiste en un fenómeno que ataca al concreto desde su fabricación, su aparición es causada por la reacción química entre algunos compuestos de los agregados, los álcalis del cemento (óxido de sodio y óxido potasio), la presencia de humedad y alteraciones de la temperatura en un indeterminado tiempo. Como resultado de estas reacciones químicas justo alrededor de las partículas más gruesas de los agregados se forma un gel que va cambiando de volumen debido a la absorción de agua hasta romper la estructura interna del concreto como resultado de las tensiones provocadas por las geles hidratadas lo cual ocasiona altas presiones en los agregados formando micro-fisuras que posteriormente pueden desintegrar la estructura que conforman.



Fase 1 – El agregado reactivo se encuentra dentro de la pasta de cemento con álcalis (Na y K) y radicales OH.



Fase 2 – La presencia de agua activa la Reactividad Alkali Agregado generando la producción de gel expansiva.



Fase 3 – Aumenta el hinchamiento y empieza la aparición de fisuración en la estructura de concreto a nivel microscópico causada por la presión hidráulica que ocasiona la gel producida al interior del agregado reactivo y la pasta de cemento.

## ¿Cuáles son los Tipos de RAA?

### Reactividad álcali sílice (RAS)

El RAS o ASR (*Alkali silica reactivity*) se define como la reacción entre los álcalis del cemento y ciertas partículas de sílice de los agregados que producen un gel que al embeber agua aumenta de volumen generando expansiones y agrietamientos.

### Reactividad álcali carbonato (RAC)

La RAC o ACR (*Alkali Carbonate Reactivity*), se define como la reacción que tienen ciertos agregados dolomíticos, al contacto con los álcalis del cemento y algunos carbonatos; originando la gel expansiva y en consecuencia la fisuración.

### Reactividad álcali silicato (RASi)

La RASi, en principio se clasificaba como un tipo de reactividad y por este motivo se hacia la clasificación; sin embargo según los últimos estudios como lo menciona (Segarra Foradada, 2005), se ha demostrado que no es así y que la reacción es la misma, solo que en función del grado de cristalización de la sílice, la cinética de la reacción varía, dándose más rápidamente cuanto menor es este grado. Por este motivo no se considerará como un tipo de reactividad diferente al de reactividad álcali sílice.

## ¿Qué variables intervienen en el fenómeno de RAA?

Características de los agregados, tales como su composición (Tipo de mineral, tamaño del grano, porosidad, permeabilidad, composición química), efecto pésimico (% disponible de minerales reactivos) y la granulometría.

Contenido de álcalis, a mayor concentración de álcalis mayor será la expansión provocada por la reacción. Los álcalis provienen del cemento (el porcentaje de álcali cemento debe ser menor al 0.6%), adiciones minerales (para la ceniza volante el contenido máximo es de 1.15% de álcalis libres y para escorias de 1.1%) y sales aportadas por agregados contaminados.

Agentes Externos entre ellos, se destaca la humedad (menor a 80% no se produce tan rápido el daño) y la temperatura (a mayor temperatura mayor producción de gel y disminución de viscosidad por lo tanto penetra micro fisuras más fácilmente).

Adiciones minerales, controlan y mitigan el efecto de la RAS entre ellas se destacan cenizas volantes, escorias de alto horno, humo de sílice o puzolanas naturales.

## ¿Cuáles son los síntomas o manifestaciones de la presencia de RAA en el concreto?

El primer indicio o manifestación externa de las estructuras afectadas por este fenómeno es la aparición de fisuras y grietas acompañadas en la mayoría de ocasiones de una coloración más oscura en el borde de las fisuras y con expulsión de una solución de color ámbar claro o marrón y secas de color blanco o claro. Lo anterior se debe verificar siempre con ensayos de laboratorio.

1. Si el hormigón no tiene ninguna restricción, las fisuras tienen forma de mapa o con un diseño pseudo-hexagonal similar a la piel de cocodrilo. Apareciendo a los 5 años de colocada en obra.
2. Si el hormigón tiene restricción: cuando se tiene cargas o tiene armadura la estructura, en este caso las fisuras se alinean con la dirección de la restricción.
3. Cuando el deterioro es masivo, existe presencia de estrigita ocupando el espacio de los poros y micro-fisuras, sustituyendo al gel producido por la RAS.
4. Expansión de la masa hormigón, en las presas se manifiesta con el cierre de juntas de dilatación, expulsión de los materiales de estanqueidad y sellado, por saltar el hormigón cercano a la junta, por desplazamientos relativos de bloques hormigón contiguos y bloqueo de órganos móviles como compuertas.

## ¿Cómo confirmar que se está presentando RAA?

Como métodos rápidos se recomienda efectuar ensayos químicos de los agregados y cemento. Ensayos de petrografía y ASTM C 1260. Igualmente se recomiendan otros como ensayo con acetato de uranilo, ensayo de gel -pat, ultrasonidos, estudios de espectroscopia infrarroja y microscopia electrónica de barrido SEM.