

SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LA ADICION SULFATO DE MAGNESIO

SOLIDITY OF STONE AGGREGATES BY ADDING MAGNESIUM SULFATE

Laura N Tiusabá¹, Natalia Borda², Alejandra Rivera³, Luis A. Moreno^{4*}

Recibido para publicación: 25 julio 2015 - Aceptado para publicación: 15 de septiembre 2015

RESUMEN

El concreto es un material heterogéneo que depende de numerosas variables. Esto da lugar a que haya variación en las propiedades del mismo, lo cual se verá reflejado en la duración y calidad del producto final elaborado con este. El concreto preparado con ciertos agregados pétreos, puede ocasionar posibles deterioros, en ambientes favorables a la ocurrencia de reacciones químicas entre los agregados y los álcalis presentes en el cemento. Este artículo presenta el análisis del comportamiento de unas muestras de agregado pétreo, tomadas de la Cantera vista Hermosa (Mosquera) y la mina Cemex (Apulo), el objetivo del ensayo fue determinar la solidez de los agregados frente a la acción del sulfato de magnesio; para llegar a esto se sometieron las muestras del agregado, a la acción de ciclos de exposición y secado en una solución saturada de sulfato de magnesio y se determinaron los efectos de esta sobre las partículas del agregado. La solidez de los agregados frente a la acción del sulfato, arrojó para la cantera de Vista Hermosa (Mosquera) un comportamiento menos favorable que para la Mina Cemex (Apulo). La Cantera Vista Hermosa presento materiales altamente porosos, lo cual ocasionó disgregación de los mismos debido a su friabilidad, a pesar de ello el contenido de partículas oxidadas fue inferior que en la Mina Cemex. Así mismo con esta investigación se pretende comprender los tipos de reacciones químicas que se pueden generar a causa de los agregados pétreos empleados en la elaboración de concretos, y la incidencia de estos en deterioro en las estructuras.

Palabras clave: Concreto, agregados, resistencia, durabilidad, álcalis, solidez.

ABSTRACT

Concrete is a heterogeneous material depends on many variables. This results in that there is variation in the properties thereof, which will be reflected in the length and quality of the final product with this. Concrete prepared with some rock aggregates can cause possible damage, in favor of the occurrence of chemical reactions between aggregates and alkalis present in concrete environments. This article presents the

¹ Ingeniera Civil de la Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia

² Ingeniera Civil de la Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia

³ Geóloga de la Universidad Nacional de Colombia, docente de la Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia

^{4*} Ingeniero Civil de la Universidad Francisco de Paula Santander, Magister de la Universidad de los Andes, docente de la Universidad Católica de Colombia Bogotá Colombia, teléfono 3174291109, Bogotá, Diagonal 46 A # 15 B – 10, sede Claustro, correo lamoreno@ucatolica.edu.co.

analysis of the behavior of a stone aggregate samples taken from the quarry Beautiful view (Mosquera) and Cemex (Apulo), quarry the test objective was to determine the strength of the aggregates from the action of magnesium sulphate; to reach this aggregate samples were subjected to the action of exposure and drying cycles in a saturated magnesium sulfate and the effects of this on the aggregate particles were determined solution. The strength of the aggregates from the action of sulphate quarry courage to Vista Hermosa (Mosquera) less favorable behavior for Cemex Mina (Apulo). Quarry Vista Hermosa present highly porous materials, which caused disintegration thereof due to its friability, nevertheless the content of oxidized particles was lower than in the Cemex Mina. Also with this research is to understand the types of chemical reactions that can be generated because of the stone aggregates used in the manufacture of concrete, and the impact of these deteriorating structures.

Key words: Concrete, aggregates, strength, durability, alkali strength.

1. INTRODUCCIÓN

Palbol define el concreto como un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla en determinadas proporciones, de pasta y agregados que suelen representar entre el 70% y 80% del volumen de concreto. (Palbol 1996).

Por otro lado, Holcim define el concreto como una mezcla de diversos elementos utilizada en la construcción y su adecuada dosificación es indispensable para poder preparar un concreto con las normas de calidad requeridas. Holcim.

Así mismo Chan P., lo define como un compuesto por aglomerantes (cemento en la mayoría de los casos), agregados, agua y aditivos especiales que permiten controlar el fraguado y mantenerlo manejable, esto permite que se desarrollen estructuras moldeadoras (encofrado) para lograr, virtualmente, alcanzar todo tipo de estructura deseable. (Chan 1993).

Por lo anterior se dice que el concreto es un material pétreo, que se obtiene de realizar una mezcla de cemento agua y agregado, en unas proporciones determinadas, lo cual da como resultado un conglomerante similar a una roca.

Castro en 1989 definió a los agregados como un componente dinámico dentro de la mezcla, en donde la variación en sus características puede ocurrir durante los procesos de explotación, manejo y transporte. (Castro 1989).

Esto se debe a que los agregados presentan características altamente variadas, como son: Su lugar de origen y el medio ambiente en el que interactúan. Teniendo en cuenta estos factores

la caracterización varía según su porosidad, granulometría, absorción de la humedad, forma y textura de la superficie; por tanto, la caracterización de un agregado en un concreto, es un factor determinante en la seguridad de una estructura, ya que este influye altamente en el resultado último de sus propiedades mecánicas al formar la mayor parte del volumen del material. (CEPAL).

Según Manuel Gonzáles. La alteración química del concreto puede ser de carácter intrínseco o extrínseco, según se deba a la reacción de sus componentes o se origine por agentes externos. (Gonzáles 1991).

La comisión de RILEM que estudia la resistencia del concreto ha agrupado en la Tabla N° 1, las sustancias agresivas del concreto que puede producir ataque químico a través de la acción de ácidos, sales o bases. (RILEM)

Tabla1. Ácidos ó bases que pueden producir ataque químico.

Ácidos minerales	Bases
Ácido Carbónico	Cloruros
Ácido Sulfúrico	Sulfatos
Ácido Fosfórico	Nitratos

Fuente: Estudio RILEM, Resistencia del concreto al ataque químico

El ataque químico más importante que se produce en el concreto por acción de los agregados, lo ocasiona el ácido sulfúrico, creando tensiones internas que llevan a la rotura del material, generalmente precedida por una coloración localizada de color marrón. La cual se pudo evidenciar en las muestras ensayadas. (González 1991).

Según Gerardo Rivera la resistencia que puede producir un determinado cemento depende fundamentalmente de su composición química; por ejemplo, un cemento rico en Silicato Bicalcio producirá altas resistencias, pero en un tiempo relativamente largo, con un moderado calor de hidratación, tendrá una mejor resistencia a los ataques químicos (Rivera. 1992). Es por esto que la resistencia de esfuerzos del concreto depende altamente de los compuestos con los que se haya realizado, razón por la cual las características del mortero (Mezcla de cemento, arena y agua), así como los agregados gruesos, dan como resultados concretos de diferentes resistencias.

Por tanto, es indispensable conocer al detalle los componentes del concreto, ya que tanto su resistencia como su durabilidad dependen de sus propiedades físicas y químicas, especialmente de los agregados, lo que genera una necesidad de tener amplia información al respecto. (Cerón. Et al 1996).

Con base en lo expuesto y considerando la investigación, realizada por parte de Daniel Alfonso Ferreira Cuellar y Karen Milena Torres López, de la Universidad Católica de Colombia en el año 2014, se realizó el ensayo de resistencia a la desintegración de los agregados gruesos, tomados de la cantera Vista Hermosa y la mina Cemex, ubicadas en los municipios de Mosquera y Apulo (Colombia) respectivamente. (Ferreira y Torres 2014).

Es por esto que este trabajo presenta una investigación práctica de las propiedades químicas del agregado, enfocado en la importancia de la solidez de los agregados frente a la acción sulfatos. Para esto se implementó el ensayo establecido en la Norma I.N.V.E – 220-13, con el fin de dar continuidad a la investigación de caracterización física como se mencionó anteriormente.

2. REACCIONES DE LOS AGREGADOS

El ataque químico más importante que se produce en el concreto por acción de los agregados, lo ocasiona es la oxidación. (González 1991)

La norma ASTM prescribe además la prueba de expansión en autoclave, para asegurar por el ensayo acelerado la estabilidad del cemento.

Reacción Álcali – Agregados. Una de las causas del deterioro del concreto, que ha sido objeto de más estudios en los treinta últimos años es la denominada reacción álcali-agregado, que se origina entre determinados agregados activos, óxidos de sodio y potasio del cemento. (González 1991)

El fenómeno fue descubierto en Estados Unidos en el año 1938. El fenómeno ataca al concreto endurecido fabricado con ciertos agregados sensibles, donde luego de varios años de exposición al medio ambiente y ante la presencia de óxidos de Sodio y Potasio (llamados comúnmente álcalis) provenientes principalmente del cemento, más humedad y temperatura, se origina un gel alrededor de las partículas gruesas, que va hinchándose cada vez más, rompiendo la estructura interna del concreto y ocasionando fisuración y desintegración de la estructura. (Kosmatka et al 2007.)

Cualquier fuente de sodio o potasio puede ser una contribución para el desarrollo de la reacción. Así, la cantidad en álcalis del hormigón debe contabilizar también las diversas fuentes internas y externas que sean potenciales suministradores de álcalis, concretamente los álcalis de los áridos. (Revista ingeniería de construcción versión 2009)

A título informativo, en la Tabla N° 2 se puede apreciar un listado de los minerales, rocas y materiales que pueden causar potencialmente la reacción Álcali Sílice. (Pasquel 1997)

Las condiciones que se requieren para que exista la reacción: Es un agregado sensiblemente reactivo con los álcalis y un espacio con la humedad necesaria para que los álcalis entren en solución, origine el gel y provoque la fisuración del material. Si alguna de estas condiciones está ausente, es entonces imposible que se produzca la reacción. (Pasquel)

Tabla 2. Rocas que pueden ocasionar la reacción.

Reacción Álcali Sílice
Andesitas, Argillitas, Calcedonia, Ciertas Calizas, Ciertas Dolomitas, Cristobalita, Cuarzita, Cuarzosa, Dacitas, Esquistos, Filita, Gneiss Granítico, Ópalo, Pizarras Opalinas, Pizarras, Síliceas, Riolitas, Tridimita, Vidrio Silíceo, Vidrio Sintético

Fuente: E. Pasquel. Tópicos de Tecnología del Concreto. Colegio de Ingenieros del Perú, 1997.

Reacción Álcali – Sílice: Para que se dé la reacción, es necesaria la presencia de sílice reactiva, álcalis sodio, potasio, y agua. Pero para que la reacción además produzca fisuración y expansión se requiere que las cantidades tanto de sílice reactiva como de álcalis disponibles, sean significativas y que el agua provenga de una fuente externa. (Hobbs, 1988), (I.N.V.E – 220-13)

Los diferentes niveles de formación de las fisuras debido a las tensiones internas se deben a:

- Nivel 1: El gel crece induciendo tensiones internas, pero no se dan micro fisuras.
- Nivel 2: Las tensiones inducidas son lo suficientemente grandes para causar micro fisuras en la proximidad de las partículas reactivas, sólo ocurre una expansión insignificante.
- Nivel 3: El gel migra hacia algunas micro fisuras y hay un lento fortalecimiento de las fuerzas internas.
- Nivel 4: Las fuerzas internas inducidas alrededor del gel que llena las micro fisuras son lo suficientemente grandes para causar micro fisuras extensivas y se pueden producir grandes expansiones. (Hobbs, 1988), (I.N.V.E – 220-13)

La reacción cesará cuando: Uno de los reactivos se consume, no hay agua disponible o la concentración del ión hidroxilo es tan baja que la sílice reactiva no es atacada y la expansión se estabiliza (Serrara 2005.)

En cuanto al ingreso de humedad externa este se puede limitar colocando alguna barrera superficial impermeable que contribuya a esto (pinturas, bitúmenes, láminas plásticas, etc.), pero en muchas de ellas esto no es posible, por lo que

la mejor recomendación es reducir la porosidad y en consecuencia su permeabilidad limitando la relación agua/cementante a valores no mayores de 0.50 Esta última medida también funciona con la humedad interna cuando usamos relaciones agua/cementante máximas de 0.40 pues en estos casos no sobra agua de lubricación y el agua interna disponible la consume totalmente el proceso de hidratación. (Kosmatka et al 2007)

Por lo anterior se tomó la determinación de dar inicio al ensayo de solidez de los agregados frente a la acción sulfatos, para el caso se empleó sulfato de magnesio ya que este tiene una mayor incidencia sobre el agregado. (I.N.V.E – 220-13)

3. METODOLOGIA

La metodología seguida se inició con el ensayo que se describe en la Norma I.N.V.E – 220-13, mediante este método se puede obtener información útil para la resistencia de los agregados a la acción de los agentes atmosféricos cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales a emplear, en las condiciones climatológicas reales de servicio. Así mismo a través de este se puede hacer una valoración preliminar de la solidez de los agregados previstos para la elaboración de concretos al hacer una comparación entre los resultados obtenidos y los especificados en la norma con el fin de establecer la aptitud del agregado para el uso requerido. (I.N.V.E – 220-13).

A partir de este ensayo se buscó determinar la solidez de los agregados frente a la acción sulfatos en los mismos, provenientes de las canteras de los municipios de Mosquera y Apulo, la cual se basa en someter una muestra de agregado, a la acción de ciclos de exposición y secado en una solución de sulfato de magnesio y determinar cuáles son los efectos de esta acción sobre las partículas del agregado. Estos efectos se clasifican como: disgregación, fractura, lajamiento, agrietamiento, exfoliación, etc.

En la figura 1 se puede observar que los recipientes empleados fueron tamices de abertura y alambre adecuados, quienes de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma se sometieron a inmersiones a una temperatura de 21° C y secado a una temperatura de 110° C durante 5 días, como se puede observar en la siguiente imagen.



Figura 1. Inmersión y secado del material

Los estándares de calidad obtenidos en este ensayo, fueron sujetos a las condiciones propias de los laboratorios con los que se dispuso. Luego de completar el ciclo final y después de que la muestra se enfrió, se lavó la misma para eliminar el sulfato de magnesio, con agua a $43\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a través de las muestras en sus recipientes, se comprobó su limpieza una vez que el cloruro de bario (BaCl_2) no reaccionó con el agua de lavado.

Al someter los agregados a este ensayo en una solución saturada de sulfato de magnesio, los mismos arrojaron resultados inesperados, los materiales que en una valoración visual inicial parecían tener unas buenas características para ser empleados, mostraron un comportamiento propio de materiales de baja calidad, alta porosidad y corrosión, que en su uso posterior, en la elaboración de concretos puede ser incluso transmitida a las barras de acero, usadas para brindar una mayor resistencia y estabilidad a las edificaciones, generando reacciones químicas desfavorables a estas características óptimas requeridas.

4. RESULTADOS

Al someter las muestras al proceso de inmersión y secado durante 5 días de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma, se tomaron unos registros de los pesos con el fin de obtener la pérdida de masa que tuvo el agregado al someterse a este proceso.

En las Tablas (3, 4, 5, 6, 7) se ilustra los datos tomados ciclo a ciclo para establecer cuál fue la pérdida ponderada de material junto con todas las reacciones que presentó el agregado. La Cantera de Vista Hermosa (Mosquera) corresponde a la denominada cantera 1, y la Mina Cemex (Apulo) a la denominada cantera 2.

Tabla 3. Material sometido a Inmersión y Secado.

1 CICLO				
Cantera	Nº Tamiz	Peso Con Tamiz (kg)	Peso del Tamiz (Kg)	Peso Sin Tamiz (Kg)
1	1/2"	1.456	0.566	0.89
1	3/8"	1.624	0.618	1.006
1	Nº 4	1.492	0.504	0.988
2	1/2"	2.476	0.686	1.79
2	3/8"	1.37	0.44	0.93
2	Nº4	0.996	0.46	0.536
2	3/4"	2.606	0.532	2.074

Tabla 4. Material sometido a Inmersión y Secado.

2 CICLO				
Cantera	Nº Tamiz	Peso Con Tamiz (Kg)	Peso del Tamiz (Kg)	Peso Sin Tamiz (Kg)
1	1/2"	1.456	0.566	0.89
1	3/8"	1.624	0.618	1.006
1	Nº 4	1.492	0.504	0.988
2	1/2"	2.476	0.686	1.79
2	3/8"	1.35	0.44	0.91
2	Nº4	0.976	0.46	0.516
2	3/4"	2.606	0.532	2.074

Tabla 5. Material sometido a Inmersión y Secado.

3 CICLO				
Cantera	Nº Tamiz	Peso Con Tamiz (Kg)	Peso del Tamiz (Kg)	Peso Sin Tamiz (Kg)
1	1/2"	1.456	0.566	0.89
1	3/8"	1.624	0.618	1.006
1	Nº 4	1.482	0.504	0.978
2	1/2"	2.476	0.686	1.79
2	3/8"	1.35	0.44	0.91
2	Nº4	0.976	0.46	0.516
2	3/4"	2.606	0.532	2.074

Tabla 6. Material sometido a Inmersión y Secado.

4 CICLO				
Cantera	Nº Tamiz	Peso Con Tamiz (Kg)	Peso del Tamiz (Kg)	Peso Sin Tamiz (Kg)
1	1/2"	1.456	0.566	0.89
1	3/8"	1.624	0.618	1.006
1	Nº 4	1.472	0.504	0.968
2	1/2"	2.472	0.686	1.786
2	3/8"	1.362	0.44	0.922
2	Nº4	0.982	0.46	0.522
2	3/4"	2.606	0.532	2.074

Tabla 7. Material sometido a Inmersión y Secado.

5 CICLO				
Cantera	Nº Tamiz	Peso Con Tamiz (Kg)	Peso del Tamiz (Kg)	Peso Sin Tamiz (Kg)
1	1/2"	1.45	0.566	0.884
1	3/8"	1.572	0.618	0.954
1	Nº 4	1.37	0.504	0.866
2	1/2"	2.464	0.686	1.778
2	3/8"	1.317	0.44	0.877
2	Nº4	0.965	0.46	0.505
2	3/4"	2.606	0.532	2.074

A partir del registro de los 5 ciclos se tiene como resultado la masa de las fracciones después de haber realizado el ensayo. En la Tabla 8. Se podrá observar la perdida ponderada del material en porcentaje.

Tabla 8. Material sometido a Inmersión y Secado

Registro de Datos Mina Vista Hermosa				
Tamiz Nº	Masa de las fracciones antes del ensayo (Kg)	Masa de las fracciones después del ensayo (Kg)	% tamiz que pasa el agregado	Perdida ponderada En %
Ensayo de Solidez sobre el agregado grueso				
1/2"	0.89	0.884	0	0
3/4"	0.99	0.954	0.03	3
Nº4	0.98	0.866	0.11	11

En la Figura 2. Se podrá observar la gráfica en donde se ilustra la perdida ponderada del material en porcentaje

En la Tabla 9. Con respecto a la mina vis Hermosa se puede observar que la mina Cemex tuvo un porcentaje de perdida mayor en cuanto al peso de cada muestra. En la figura 3. Se ilustra la perdida ponderada del material en porcentaje de la mina Cemex.

Al hacer una comparación de los resultados anteriores se puede evidenciar que el agregado de tamaño de 1/2" no tuvo mayor variación en ninguna de las dos canteras por tanto en la mezcla no incidió en la composición de la misma por ende no hubo perdida de material.

Figura 2. Pérdida Ponderada del material Cantera Vista Hermosa (Mosquera).

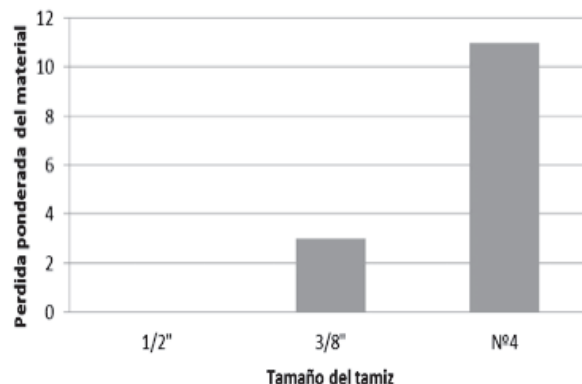
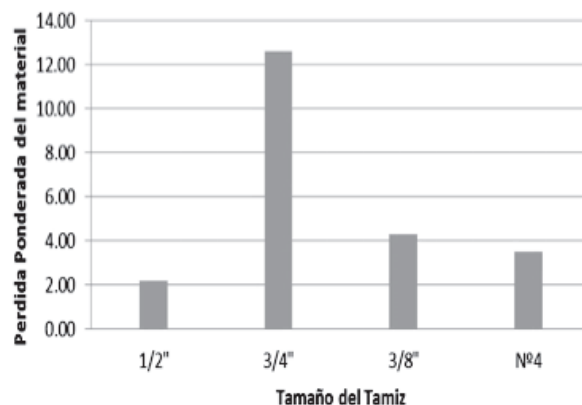


Tabla 9. Material sometido a Inmersión y Secado

Registro de Datos Mina Cemex (Apulo)				
Tamiz Nº	Masa de las fracciones antes del ensayo (Kg)	Masa de las fracciones después del ensayo (Kg)	% tamiz que pasa el agregado	Perdida ponderada en %
Ensayo de Solidez sobre el agregado grueso				
1/2"	1.8	1.778	0.02	2
3/4"	2.2	2.074	0.13	13
3/8"	0.92	0.877	0.04	4
Nº4	0.54	0.505	0.04	4

Figura 3. Pérdida Ponderada del material Mina Cemex (Apulo)



En cuanto al material de 3/8" se evidencia que en las dos minas fueron los agregados que tuvieron un porcentaje de pérdida medio es decir que a pesar de que la solución incidió en el material no lo hizo desintegrarse totalmente.

El material de tamaño N°4 en la mina vista hermosa fue en el que más tuvo incidencia de la solución mientras que en la mina Cemex afecto en un nivel medio al igual que en el material de 3/8", en esta mina el material más afectado fue el de 3/4".

4.1. ANALISIS CUALITATIVO

Para realizar un examen cualitativo a las muestras se separan en grupos las partículas de acuerdo con el efecto que produce la acción del sulfato de sodio y se procede a contar las partículas que tuvieron algún tipo de afectación.

Caracterización Química. La solidez de los agregados frente a la acción de sulfatos arrojo para la cantera de Vista Hermosa (Mosquera) un comportamiento menos favorable que para la Mina Cemex (Apulo). La acción del sulfato se puede manifestar de diversas maneras, en general se podrán clasificar como desintegración, fragmentación, rotura, agrietamiento, formación de lajas, descascaramiento.

La Cantera Vista Hermosa (Mosquera) presento materiales altamente porosos, lo cual ocasionó disgregación de los mismos debido a su friabilidad, a pesar de ello, el contenido de partículas oxidadas fue inferior que en la Mina Cemex (Apulo). En la figura 4 se puede observar el material proveniente de la Cantera Vista Hermosa.



Figura 4. Agregado 1/2" Cantera Vista Hermosa (Mosquera)

Tabla 10. Comportamiento Cantera Vista Hermosa (Mosquera)

Cantera Vista Hermosa (Mosquera)			
Tamaño del Agregado	N°4	1/2"	3/8"
Comportamiento			
Lajadas (Un)	90	7	113
Fracturadas (Un)	74	27	31
Disgregadas (Un)	147	36	70
Fracturadas y Lajadas (Un)	33	22	35
Porosidad Alta (Un)		10	
Total	344	102	249

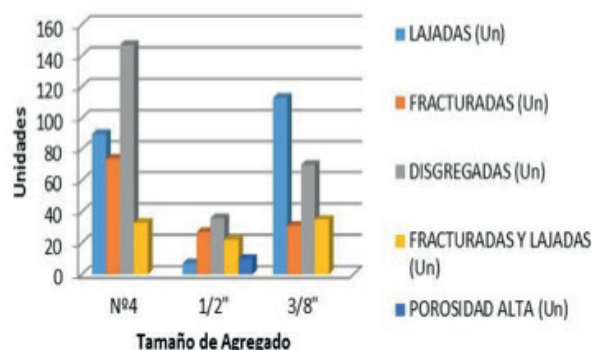


Figura 5. Comportamiento Cantera Vista Hermosa (Mosquera)

Como se evidencia en la Tabla 10 y en la figura 5, el comportamiento de los agregados de la Cantera Vista Hermosa (Mosquera), en su mayoría presentan disgregación como se mencionó anteriormente, así mismo es un material altamente lajado y fracturado.

Los ensayos de laboratorio arrojaron como resultado para la Mina Cemex (Apulo) agregados más cementados, con baja porosidad, pero con un alto porcentaje de oxidación, condición bastante desfavorable para el uso de los mismos en la elaboración de concretos. En la figura 6 se puede observar el material proveniente de la Cantera Mina Cemex.



Figura 6. Agregado 1/2" Mina Cemex (Apulo)

Un factor determinante para la variación de las propiedades químicas de las muestras es su petrografía de origen, porque esta afecta directamente su composición. En la Tabla 11 se evidencia el comportamiento del agregado de la Mina Cemex.

Tabla 11. Comportamiento Mina Cemex (Apulo)

Mina Cemex (Apulo)			
Tamaño del Agregado	3/4"	1/2"	3/8"
Comportamiento			
Lajadas (Un)	3	14	57
Fracturadas (Un)	58	145	268
Disgregadas (Un)	5	20	5
Fracturadas y Lajadas (Un)	39	112	77
Fracturadas y Disgregadas (Un)	35	71	73
Total	140	362	480

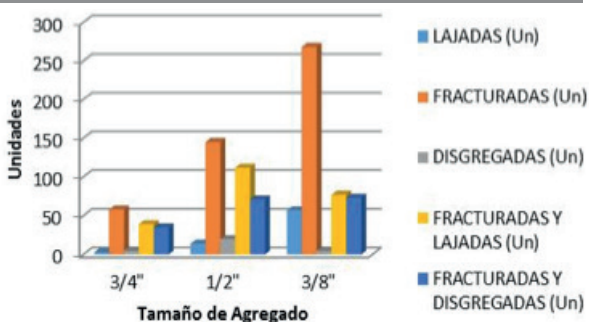


Figura 7. Comportamiento Mina Cemex (Apulo)

Como se ilustra en la figura 7 el comportamiento de la Mina Cemex (Apulo), presenta agregados altamente fracturados y lajados, con baja disgregación.

5. CONCLUSIONES

Los agregados gruesos de la Cantera Vista Hermosa (Mosquera) por ser materiales altamente permeables, que presentan gran disgregación y friabilidad, no son adecuados para la elaboración de concretos de alta resistencia, al igual que los agregados de la Mina Cemex (Apulo), ya que presentan un comportamiento de alta oxidación frente a la acción del sulfato de magnesio. Lo que ocasiona que no sean agregados adecuados para este fin.

Las muestras de agregados ensayados tuvieron reacciones desfavorables frente a la acción del sulfato de magnesio, tal como se mencionó anteriormente, al emplear el sulfato de magnesio para simular un ambiente agresivo, con presencia de agentes atmosféricos y condiciones climatológicas perjudiciales, se evidencia que los materiales ensayados, no son aptos para desarrollar concretos de alta resistencia en climas tropicales.

Teniendo en cuenta que no se contaron con los recursos necesarios para realizar un análisis más completo, con ensayos adicionales que permitieran dar un diagnóstico de mayor profundidad, vale la pena resaltar que este procedimiento permite realizar una valoración preliminar de las características propias del material y debe complementarse con resultados obtenidos de variados ensayos, como los relacionados a continuación, entre otros, que permitan comparar los valores obtenidos con las especificaciones existentes, dependiendo del uso que se le vaya a dar al material, para dar un resultado final. (I.N.V.E – 220-13)

Norma I.N.V.E – 233-13, establece un procedimiento para la determinación cuantitativa en los agregados para concretos, de los compuestos de azufre que se encuentran tanto en forma de sulfatos como de sulfuros, atacables y no atacables por ácido clorhídrico.

orma I.N.V. E – 234-13 la cual tiene por objeto determinar la reactividad de los agregados con los álcalis del cemento Pórtland utilizados en la fabricación de concreto hidráulico. Para que a partir de estos procesos se dé un resultado más asertivo en cuanto a las reacciones del agregado.

Hay que destacar que las reacciones químicas se manifiestan a través de efectos físicos nocivos tales como el aumento de la porosidad y la permeabilidad, disminución en la resistencia, fisuración y de laminación. En realidad, los procesos físicos y químicos de deterioro actúan al mismo tiempo y pueden hasta potenciarse mutuamente, interrelacionándose entre sí y mostrando clara mente la complejidad de los problemas de durabilidad del hormigón en la práctica.

La reacción álcali – agregado es un fenómeno de trascendencia internacional que ataca al concreto con ciertos agregados sensibles, donde luego de varios años de exposición al medio ambiente sin ninguna manifestación y ante la acción de óxidos de Sodio y Potasio (álcalis) provenientes principalmente del cemento, más humedad, se origina un gel expansivo que puede ocasionar la fisuración y desintegración de la estructura. (Pasquel)

Existen una gran cantidad de minerales y rocas que pueden producir reacciones químicas, por lo tanto es susceptible que aparezcan en cualquier parte del mundo si se dan las condiciones necesarias. Para que se desarrolle la reacción es necesario que exista el mineral potencialmente reactivo, una elevada cantidad de álcalis, humedad para que entren en solución y reaccionen con los agregados y un tiempo mínimo usualmente del orden de 5 años o más para que se active la expansión. (Pasquel)

El análisis petrográfico, realizado anteriormente como trabajo de grado de la caracterización física de estos agregados, realizado por Daniel Alfonso Ferreira Cuellar y Karen Milena Torres López, de la Universidad Católica de Colombia en el año 2014, permitió clasificar y determinar la composición mineralógica de las muestras, para el agregado grueso de la Cantera Vista Hermosa (Mosquera) en el cual se determinó que por ser un material altamente permeable no es adecuado para la elaboración de concreto.

REFERENCIAS

- [1]. L. Palbol Optimización de los agregados para concreto "Construcción y tecnología" México, 9 (100), 1996.
- [2]. P. Chan Quantitative analysis of aggregate

shape based on fractals. "ACI Materials journal," (U.S.A.), 90 (4), 1993.

- [3]. Castro A. Petrografía Básica: Texturas Calcificación y nomenclatura de rocas, 1989.
- [4]. CEPAL "Industria Minera de los materiales de la construcción" Publicado en Serie Recursos Naturales e Infraestructura. No, 76.
- [5]. Fedesarrollo. El Sector de materiales de construcción en Bogotá - Cundinamarca., marzo 2006.
- [6]. D. A. Ferreira Cuellar, K. M. Torres López "Caracterización Física de Agregados Pétreos para Concretos Caso: Vista Hermosa (Mosquera) y Mina Cemex (Apulo)" Tesis Universidad Católica de Colombia. 2014.
- [7]. M. Gonzáles de la Cotera. "Exposición en el ciclo organizado por el ACI, Capítulo Peruano sobre Corrosión en Estructuras de Concreto- Ataque Químico al Concreto". Diciembre 1991.
- [8]. RILEM Estudio de Resistencia del concreto al ataque químico.
- [9]. G. A. Rivera. Resistencia del Concreto. Universidad del Cauca, 1992.
- [10]. M. Cerón. F. Duarte., W. Castillo Propiedades físicas de los agregados pétreos de la ciudad de Mérida. "Boletín académico FIUADY," (México), 1996.
- [11]. S. H. Kosmatka B. Kerkhaff, and W. C. Panarese – Desingn and Control of Concrete Mixes – Portand Cement Association, 2007.
- [12]. J. L. Chan Yam, R. Solís Carcaño, E. I. Moreno" Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto" (2003)
- [13]. Revista ingeniería de construcción versión On-line ISSN 0718-5073 Rev. ing. constr. v.24 n.2 Santiago ago. 2009
- [14]. E. Pasquel. Tópicos de Tecnología del

- Concreto. Colegio de Ingenieros del Peru, 1997.
- [15]. Mehta, P. Kumar, Monteiro, Paulo J. M...- Concrete, Microestructures, Properties and Materials.- Editorial Mc Graw-Hill – 2005.
- [16]. E. Pasquel. Reacción Álcali – Agregado: El VIH del Concreto. Ingeniero Civil, Gerente de Investigación y Desarrollo de Unión de Concreteras S.A., Profesor de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Profesor de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Fellow American Concrete Institute, Past Presidente delACI-PERU, Director Ejecutivo del Centro de Investigación Tecnológica del Cemento y el Concreto – CITEDEC, Lima, Perú
- [17]. D.W. Hobbs, Alkali-Silica Reaction in Concrete, Thomas Telford, London, 1988
- [18]. I. Acosta Collell. Calibración y puesta en marcha de una nueva máquina de ensayo para hormigón afectado por la reacción álcali-árido, jun de 2012.
- [19]. J. Serrara Foradada. Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en hormigón. Tesis Universidad Politécnica de Catalunya, jun 2005.
- [20]. I.N.V.E – 220-13 Solidez de los Agregados Frente a la Acción de las Soluciones de Sulfato de Sodio o de Magnesio.
- [21]. J. Tamayo Tamayo, C. Gutiérrez Guevara, J. Cabrera Vargas. “Estudio de la degradación de los agregados pétreos durante la vida útil de los pavimentos” Ingeniería e Investigación Universidad Nacional de Colombia.
- [22]. S. Kuperman.- Experiencias en el Brasil con la detección, control, prevención y neutralización de la reacción álcali-sílice en concreto.- III Convención Internacional del ACI-PERU-2004
- [23]. N. Adams, D. Stokes. - Using advanced Lithium Technology to Combat ASR in Concrete. - ACI - Concrete International. - August 2002
- [24]. Özturan T., Çeçen C. (1997). Effect coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. “Cement and concrete research,” (U.S.A.), 27 (2), p. 165.
- [25]. W. Garzón Pire “Estudio de Durabilidad al Ataque de Sulfatos del Concreto con Agregado Reciclado” Tesis Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Construcción. Bogotá Colombia, 2013.
- [26]. R. Malanca, Diseño de un ensayo acelerado para la determinación del ataque por acción de los sulfatos a estructuras de hormigón y alternativa propuesta para el diseño de un contenedor”. Tesis (CEATEN), Universidad Nacional de Cuyo, Instituto Balseiro, (2003).
- [27]. E. M. Balseca Hidalgo, C. Carrasco, G. Kléber “Ataque de los sulfatos a los hormigones de alto desempeño”, Jul 2009.
- [28]. M. A. Lozada Rincón, M. L. Rangel Jaimes, L. M. Torrado Gómez “Estudio de los índices de variabilidad en la calidad de los agregados pétreos, enfocado a pavimentos rígidos” Tesis Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, 2012.
- [29]. R. Uribe. “El control de calidad en los agregados para concreto 3a parte. Construcción y tecnología”(México), 1991.
- [30]. A. Cetin., R. Carrasquillo. High-performance concrete: influence of coarse aggregates on mechanical properties. “ACI Materials journal,” (U.S.A.), 95 (3), p. 253, 1998.