

Concreto hidráulico elaborado con agregados locales y adicionado con ceniza volcánica.

Concrete hydraulic elaborated with local aggregates and added with volcanic ash.

H.L. Chávez, E. Alonso, W. Martínez, J. C. Rubio, L.E. Chávez. Departamento de Materiales. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio “F” Cd. Universitaria, Ave. Fco. J. Múgica S/N, Col. Felcitas del Río, Cp. 58040, Morelia, Michoacán, México, hchavez@jupiter.umich.mx.

RESUMEN. En la presente investigación se muestran los resultados de un estudio del concreto hidráulico, modificando la fluidez del concreto hidráulico mediante la adición de una ceniza volcánica. Los agregados pétreos empleados son de bancos locales llamados “Joyitas”, “Tribasa” y Banco “San Isidro”. De Joyitas se trabajó con arena y grava, y del banco San Isidro se trabajó con ceniza volcánica. Se empleó la ceniza en sustitución porcentual de los finos en diferentes proporciones, las proporciones que mostraron mejores resultados fueron: 100%-0%, 80%-20%, 70%-30%, 60%-40% y 50%-50%, el primer porcentaje indica la cantidad de arena y el segundo porcentaje indica la cantidad de ceniza volcánica empleada en peso. Con estas proporciones se elaboraron especímenes de concreto hidráulico para someterlos a pruebas mecánicas. Tanto los agregados pétreos como el concreto hidráulico se sometieron a pruebas estandarizadas por la ASTM. La finalidad de la investigación es aumentar la fluidez del concreto hidráulico sin disminuir de manera importante las propiedades mecánicas del mismo, lo cual se logró con la proporción 50%-50%, ya que ésta presentó un aumento en la fluidez del 20% y cumplió con el porcentaje de resistencia indicado en las normas. La proporción 50%-50% contiene la cantidad necesaria de ceniza volcánica para aumentar la fluidez de manera favorable, es decir, fabricar un concreto trabajable sin aumento del agua de mezclado y por consiguiente sin reducir las propiedades mecánicas, ya que en este caso la ceniza volcánica trabaja como un lubricante entre las partículas de los agregados pétreos. El concreto se diseñó por el método del American Concrete Institute (A.C.I., 1995), debido a que éste generalmente permite mayores relaciones agua/cemento reflejándose en mezclas manejables y con menores consumos de cemento que el método de las curvas de Abrams (Abrams, 1918). El concreto proyectado fue de un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Para evitar que los valores resultantes estuvieran por debajo del valor promedio, se calculó el siguiente valor de diseño de mezcla, $Fcr = 285 \text{ kg/cm}^2$, según el artículo 308 del Reglamento de Construcciones para el Estado de Michoacán, como un factor de seguridad. Así las mezclas fueron diseñadas para una resistencia promedio de 285 Kg/cm^2 . En la investigación se empleó Cemento Pórtland CPP 30R, relación agua/cemento en peso de 0.56 y un revenimiento de proyecto de 10 cm.

Palabras clave: Concreto hidráulico, agregados pétreos, ceniza volcánica.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente trabajo es el de relacionar las propiedades físicas y químicas de los agregados pétreos con las propiedades mecánicas del concreto hidráulico, dichas propiedades de los agregados pétreos fueron determinadas gracias a una caracterización geológica, mineralógica y geoquímica, y para lograr esta caracterización se emplearon técnicas apropiadas para cada fin, como son DRx, fluorescencia de rayos x, MO, y MEB.

Conjuntamente a la caracterización de los agregados pétreos, los cuales provienen de los bancos de materiales denominados “Joyitas”, “Tribasa” y “San Isidro”, hemos realizado las pruebas de calidad marcadas por la ASTM necesarias para conocer las condiciones de dichos agregados pétreos y con estos materiales se elaboraron los especímenes de concreto hidráulico para posteriormente ser sometidos a las pruebas mecánicas de compresión y tensión. El concreto hidráulico que elaboramos se hizo con dos tipos de agregados primero tenemos al concreto elaborado con: arena, grava, cemento y agua, estos agregados pétreos empleados son del banco de

materiales llamado Joyitas, además a la arena se le adicionó ceniza volcánica en distintas proporciones. Se elaboraron cinco diferentes proporciones las cuales fueron 100%-0%, 80%-20%, 70%-30%, 60%-40%, y 50%-50%, el primer porcentaje corresponde al de la arena y el segundo al de la ceniza volcánica, estos porcentajes son en peso. En el segundo caso tenemos concreto hidráulico elaborado con agregados pétreos triturados, en este caso se empleó arena de Joyitas mezclada con la ceniza volcánica únicamente en una proporción la cual fue 50%-50%, además de la grava triturada, el cemento y el agua. Para elaborar el concreto en todos los casos se empleó cemento CPP 30R, según ONNCCE 1999.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental comprende la elaboración de los especímenes de concreto, pero además de esto el proceso para preparar las muestras que serán sometidas a cada una de las técnicas de análisis. Para obtener los agregados pétreos con los que se elaboró el concreto hidráulico y los cuales se sometieron a los diferentes análisis fue necesario trasladarse a los

bancos de material con la finalidad de traer una muestra representativa de dicho material (Navarro L., Martínez W., Espinoza A., 2000).

En el caso del agregado volcánico, específicamente en el banco “Joyitas”, tanto la grava como la arena, son tomadas directamente del sitio por una draga, esta draga deposita el material en un camión para ser trasladado a un depósito. El material una vez colocado en el depósito es clasificado por sus tamaños, ya que dicho depósito cuenta con varias salidas, las cuales conducen al material a tamices de diferentes aberturas y así clasificar al material de acuerdo a su tamaño. Posteriormente el material se acumula y es de aquí donde se realiza el muestreo. Para el caso de los triturados, el material es tomado por una draga del banco, transportado por camiones hacia los molinos donde es triturado y una vez triturado se va conduciendo por una banda la cual transporta al material hasta el lugar donde se almacena para posteriormente venderlo y transportarlo. El muestreo se realizó en los depósitos donde el material se expende. En el caso de la ceniza volcánica se extrae con un cargador frontal, este cargador llena los camiones volteo que llevan al material hasta las mallas de cribado, posteriormente el material es transportado por camiones volteo y se almacena para su venta. El banco Ejido San Isidro es productor de arena, balastre, grava y sello, cabe señalar que el material presenta un color café claro, localización con líticos de diversos colores.

Con la finalidad de conocer la calidad de los agregados pétreos a emplear es necesario realizar algunas pruebas marcadas por las normas (ASTM, 2000) y en base a los resultados realizar un correcto diseño del concreto hidráulico. Las pruebas físicas realizadas fueron: Peso Volumétrico Seco Suelto, Peso Volumétrico Seco Varillado, Análisis Granulométrico, Absorción y Densidad.

Además de las pruebas físicas, se realizaron pruebas con técnicas analíticas, y así obtener la información completa sobre las características de interés de dichos minerales.

La preparación de las láminas delgadas se realizó mediante el procedimiento típico (Betejtin A) en el cual primeramente se cortó la muestra con un disco hasta un espesor de unas cuantas micras posteriormente se pulió hasta un espesor de tres centésimas de milímetro, para este pulido se emplearon abrasivos de diferente tamaño que se reducían conforme se disminuía el espesor de la muestra, esto fue para el caso de la grava. En el caso de la arena y ceniza volcánica la muestra se montó en

resina para posteriormente disminuir su espesor hasta llegar al deseado.

En el caso de fluorescencia de rayos x las muestras se clasificaron de acuerdo a su color, para el caso de la grava de Joyitas, en el caso de la grava triturada el material era homogéneo, por lo tanto se tomó una muestra representativa y se molió. Como la grava era en un principio demasiado dura se partió para poder molerse poco a poco. En el caso de la arena la muestra representativa se molió en su totalidad, al igual que con la ceniza volcánica. La molienda fue en un mortero de ágata. Una vez molido el material se cribó por la malla No 325 ASTM. El material que pasó se sometió al análisis de fluorescencia de rayos X.

La preparación de las muestras para el análisis de difracción de rayos x consistió en realizar una molienda a cada una de las variedades en sus diferentes tonalidades de color, es decir, que como para el banco Joyitas se tenían tres diferentes tonalidades del color se molieron nueve muestras en el caso de la grava y para la arena la molienda se realizó a una sola muestra representativa de la misma. En el caso del banco Tribasa, el material presentaba una sola tonalidad, se obtuvieron tres muestra moliendo dicho material. La ceniza volcánica se molió y se prepararon tres muestras para analizarlas en el difractor de rayos X. Posteriormente a la molienda, se hacía pasar el material por el tamiz número 325 ASTM. Y finalmente el material que pasaba por esta malla se llevó a analizar al difractor para posteriormente obtener los difractogramas correspondientes para cada una de las muestras.

En el caso de microscopía electrónica de barrido las muestras se prepararon de dos formas:

- Se obtuvieron esquirlas de los especímenes de concreto, las cuales fueron metalizadas con carbón y posteriormente fueron montadas en una lámina de cobre para poder colocarlas en el portamuestras del microscopio.
- De los especímenes cilíndricos de concreto se extrajeron muestras con un disco de manera que se tuviera un espesor constante, las otras dimensiones no fueron regulares. Estas muestras fueron pulidas a espejo y posteriormente se colocaron en una solución de alcohol (50% alcohol etílico-50% agua) con la finalidad de deshidratar al concreto, después fueron metalizadas con carbón y montadas en el portamuestras para ser observadas en MEB de bajo vacío.

Para diseñar el concreto se emplearon todos los datos obtenidos de las pruebas de calidad, como son la absorción, la densidad, la granulometría y los pesos volumétricos secos sueltos y varillados, que conjugados con el método del A.C.I. se obtienen las cantidades de cada material para elaborar los especímenes de prueba.

Los métodos para verificar la calidad del concreto son las pruebas de resistencia a compresión y resistencia a la tensión en cilindros de concreto (Cemex, 2000), (Apasco, 2005) que buscan la obtención de las propiedades mecánicas del concreto.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

De las muestras analizadas y de los resultados obtenidos se presentan los de mayor relevancia, con la finalidad de lograr el objetivo de esta investigación. Primeramente se presentan los resultados de las pruebas físicas y posteriormente tenemos los resultados de las técnicas analíticas empleadas en el presente trabajo.

Para los pesos volumétricos seco suelto y varillado tenemos como resultado de tres cuantificaciones los siguientes datos, Tabla 1:

Tabla 1. Pesos volumétricos de agregados empleados.

Proporción (% en peso)	PVSS (Kg/m ³)	PVSV (Kg/m ³)
	ASTM C 29-97	ASTM C 29-97
100-0 (Arena de Joyitas y Ceniza Volcánica)	1310	1340
80-20 (Arena de Joyitas y Ceniza Volcánica)	1256	1319
70-30 (Arena de Joyitas y Ceniza Volcánica)	1265	1367
50-50 (Arena de Joyitas y Ceniza Volcánica)	1256	1320
60-40 (Arena de Joyitas y Ceniza Volcánica)	1271	1341
Ceniza Volcánica	1141	1320
Grava de Joyitas	1130	1203
Grava Triturada	1470	1530

Para las proporciones mencionadas anteriormente tenemos la curva granulométrica que se muestra en la figura 1.

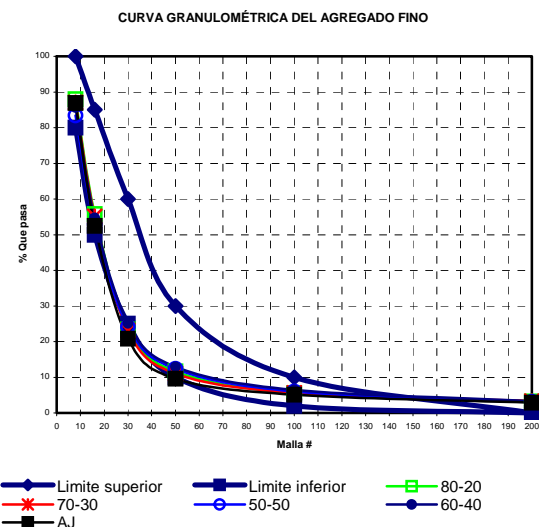


Fig. 1. Curva granulométrica del agregado fino.

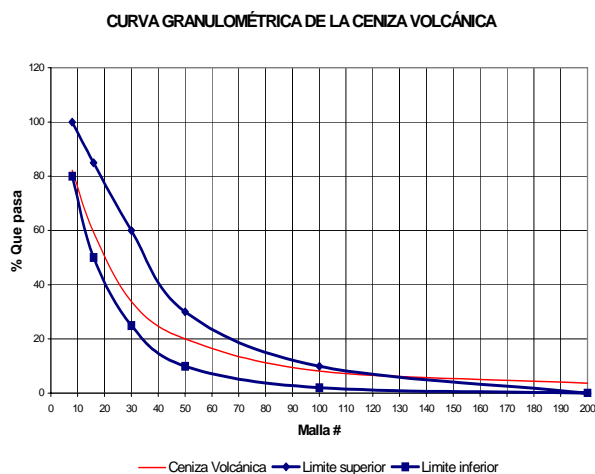


Fig. 2. Curva Granulométrica de la ceniza volcánica.

Tabla 2. Absorción y densidad del agregado fino y ceniza volcánica

Proporción (% en peso)	Absorción (%) ASTM C 128-97	Especificaciones	Densidad(gr/cm ³) ASTM C 128-97	Especificaciones
100-0 (A.J)	2.5177	4 % máx.	2.6048	2.0 mín.
80-20	4.8345	4 % máx.	2.3675	2.0 mín.
70-30	3.1939	4 % máx.	2.4383	2.0 mín.
60-40	4.9365	4 % máx.	2.6254	2.0 mín.
50-50	4.9166	4 % máx.	2.3974	2.0 mín.
Ceniza volcánica	5.5412	4 % máx.	2.5063	2.0 mín.

La figura 3, es el resultado de la prueba de resistencia a la compresión de cilindros de concreto elaborados con arena y grava de Joyitas y con las proporciones en sustitución, en peso, de ceniza volcánica indicadas en la misma.

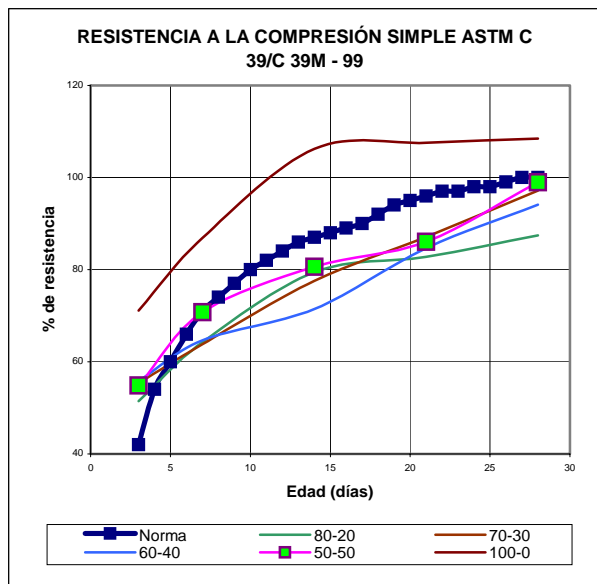


Fig. 3. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (agregados de joyitas)

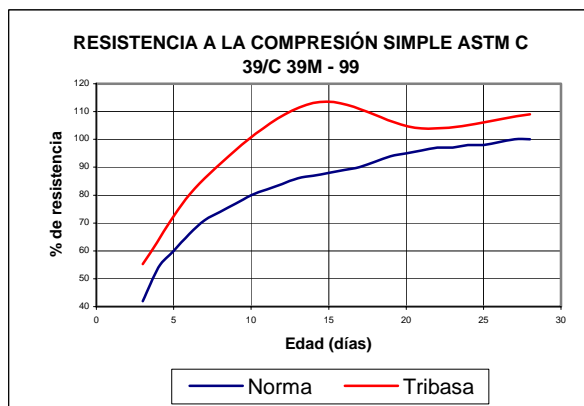


Fig. 4. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (agregados de joyitas y tribasa)

La Figura 4, muestra los resultados de la resistencia a la compresión de cilindros elaborados con arena de Joyitas y grava de Tribasa, triturado basáltico, con ceniza volcánica únicamente en la proporción 50%-50%, es decir, 50 % en peso de arena de Joyitas y 50% en peso de ceniza volcánica.

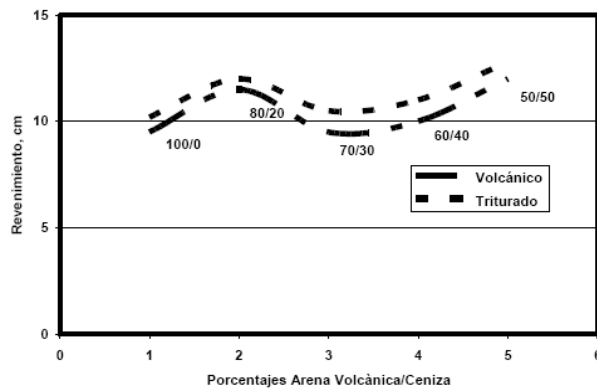


Fig. 5. Revenimiento, trabajabilidad ASTM C- 143

La Difracción de Rayos x y análisis de secciones delgadas coinciden en las especies mineralógicas existentes en los agregados pétreos, confirmando la presencia de piróxenos y feldespatos, inmersos en un matriz vítrea.

Tabla 3. Especies minerales presentes en los agregados pétreos empleados en la elaboración de mezclas de concreto hidráulico.

Banco	Material	Especie Mineralógica
Joyitas	Arena Volcánica	Anortita, Augita
	Grava volcánica	Albita, Augita, Nontronita, Anortita
Tribasa	Grava triturada	Anortita, Enstatita
Acámbaro San Isidro	Limo o ceniza volcánica	Cristobalita, Albita, Ferroactinolita

Tabla 4. Análisis de fluorescencia de rayos x, en ppm.

Banco	Tribasa grava	Joyitas grava	Joyitas arena	San Isidro
Rb	38	36	37	129
Sr	828	791	779	164
Ba	441	712	686	232
Y	17	686	18	33
Zr	169	237	235	155
Nb	4	8	9	17
V	165	127	140	30
Cr	86	77	98	13
Co	20	16	20	23
Ni	92	92	94	7
Cu	29	25	31	11
Zn	77	87	89	47
Th	<4	<4	<4	13
Pb	12	17	42	17

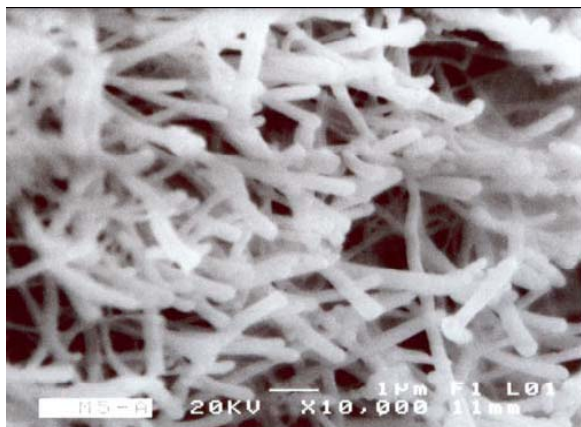


Fig. 6. Formación de agujas de etringita.



Figura 7. Grava de joyitas, plagioclasa típica.

4. DISCUSIÓN

Mediante el empleo de esta ceniza volcánica se afectaron las propiedades (Powers, T. C., 1932) mecánicas del concreto hidráulico, es decir, hemos aumentado la fluidez del concreto hidráulico con la ceniza volcánica pero se modificó su resistencia a la compresión y su resistencia a la tensión, estando dentro de un rango tolerable de desviación, es decir, que para el concreto elaborado con agregados gruesos y finos de Joyitas y usando ceniza volcánica en una proporción 50%-50% con relación al peso de la arena, nos dá como resultado de compresión simple para una edad de 3 días un 55% de resistencia y a los 28 días nos dió un 93% de resistencia y el concreto testigo para 3 días de edad dió un 70% de resistencia y a los 28 días de edad dió 108%, lo que nos indica que el concreto con ceniza volcánica y arena y grava de Joyitas está por debajo de la resistencia esperada para este tipo de concreto según su diseño; el concreto elaborado con arena de Joyitas, con ceniza volcánica,

en una proporción 50%-50% en peso, y grava de Tribasa marcó un 55% de resistencia también para una edad de 3 días, pero para 28 días nos dió un 109% de resistencia, indicando que este concreto es mejor que el concreto elaborado con grava y arena de Joyitas y además cumple con la norma, ésto es, para concretos jóvenes.

En cuanto a la fluidez de las mezclas elaboradas obtuvimos los mejores revenimientos para las proporciones 50%-50%, tanto para el concreto elaborado con arena y grava de Joyitas como para el concreto elaborado con arena de Joyitas y grava de Tribasa, en el caso del concreto elaborado con arena y grava de Joyitas se obtuvo un revenimiento de 12 cm para la proporción 50%-50%, muy cerca de esta proporción esta la proporción 80%-20%, que presento un revenimiento de 11.5 cm pero su resistencia a la compresión y a la tensión es inferior a la resistencia de la proporción 50%-50%. En el caso del concreto elaborado con arena de Joyitas y grava de Tribasa, además de la ceniza volcánica, dió un revenimiento de 11 cm, pero las curvas descritas por este concreto tanto de resistencia a la compresión como de resistencia a la tensión indican porcentajes de resistencia superiores a los descritos por el concreto elaborado solamente con agregados de Joyitas y ceniza volcánica, es decir, aumentamos un 10% de revenimiento en el caso del concreto elaborado con arena de Joyitas y grava de Tribasa, ya que el concreto se diseño para un revenimiento de 10 cm, y nos mantenemos con buena resistencia a la compresión y tensión al escoger como mejor concreto al concreto elaborado con arena de Joyitas y grava de Tribasa además de la ceniza volcánica.

En el empleo de las técnicas analíticas se ha notado que primeramente se conocen los minerales constituyentes de nuestros agregados pétreos de manera general, como es en el caso de la Microscopía Óptica y Fluorescencia de rayos X, con la cual nos encontramos que se trataba de Feldespatos plagioclasa.

Al emplear la difracción de rayos X fue posible conocer de manera más precisa la composición de nuestros agregados, el cual consta de Anortita, Augita, Albita y Nontronita, para el caso de los agregados de Joyitas; para Tribasa tenemos que se trata de Anortita y Enstatita; y para la ceniza volcánica tenemos que está compuesta por Cristobalita, Albita y Ferroactinolita, debido al alto contenido de Cristobalita (70.96 %), la ceniza volcánica es ácida.

Mediante el empleo de la Microscopía Electrónica de Barrido se lograron obtener imágenes de agujas de Etringita para diferentes edades del concreto

hidráulico, estas agujas se presentaban más grandes para edades mayores del concreto hidráulico y viceversa, es decir, que las agujas crecen con el agua del concreto hidráulico.

La fluidez del concreto hidráulico aumentó debido a varios factores: la ceniza volcánica está constituida por los mismos feldespatos que la grava y la arena de Joyitas. En el caso de los materiales pétreos triturados tenemos la presencia también de un feldespato, como lo es la Anortita. Cabe mencionar que la diferencia entre los agregados pétreos y la ceniza volcánica es la presencia de Cristobalita.

5. CONCLUSIONES

La adición de cenizas volcánicas cambian la reología del concreto elaborado (Alonso E., L. Martínez-Gómez, W. Martínez, and L. Villaseñor., 2002) y por lo tanto su fluidez o revenimiento, en este caso específico, incrementándose, que era el objetivo principal: incremento de la trabajabilidad sin empleo de aditivos químicos, y sin merma de la resistencia mecánica.

Con la MEB se observa la formación de la etringita, fase que se desarrolla con el tiempo y su desarrollo cristalino no se altera por la adición de cenizas volcánicas (no existe reacción puzolánica y/o formación de silicatos de calcio hidratados, CSH), correlacionando los resultados físicos (revenimiento), mecánicos y micro estructurales.

La microscopía óptica permitió observar los minerales tipo presentes en el concreto, los cuales por ser feldespatos y limos, son inertes químicamente en el cemento debido al tipo de enlace químico y estable de estos compuestos minerales, la presencia total de los álcalis encontrados en la fluorescencia de rayos x que pudieran reaccionar con la matriz de cemento es inferior al 12% y no se propiciará la reacción álcali-agregado.

6. REFERENCIAS

Abrams, Duffus. The Design of Concrete Admixtures. First ed., Lewis Institute. Chicago. IL. USA. 1918, pp 15-29.

ACI Comite 318, American Concrete Institute, Build Code Requirements for Structural Concrete, Aci 318-95, Farmington Hills, Mich., 1995, pp 35-52.

Alonso E., L. Martínez-Gómez, W. Martínez, and L. Villaseñor, "Mechanical properties of concrete elaborated with igneous aggregates", Cement and Concrete Reserch, Elsevier Science, Volume 32, Numbre 2, February 2002, pp 317-321.

American Society for Testing Materials, ASTM Section Tour, Construction Volume 02, Concrete and Aggregates, West Conshohochen, PA, USA, 2000.

Betejtin A., "Curso de mineralogía", Ed. Paz, Moscu, pag. 354-359, 550-555, 620-637.

Concretos Mexicanos (CEMEX), "Manual del constructor", México, 2000, pp 30-45.

Concretos Mexicanos (CEMEX), "Tecnología del concreto", 2000, pp 23-29.

Holcim APASCO, "Curso de tecnología esencial de concreto", México, 2005, pp 18-26.

Navarro L., Martínez W., Espinoza A., "Análisis de materiales", Manual de Análisis de Materiales, Resistencia de Materiales, FIC – UMSNH, 2000, pp 159-215.

Powers, T. C., "Studies of workability of concrete," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 28, Farmington Hills, Michigan, February 1932, pp 55-70.