



CURVAS DE DISEÑO PARA GROUT OBTENIDAS EXPERIMENTALMENTE EN EL LABORATORIO.

Luis Valdivieso Vidal^a, Marlon Valarezo A.^b
Universidad Técnica Particular de Loja.

Resumen:

El Grout conocido en nuestro medio como lechada de relleno compuesto por material cementante, con o sin agregado y agua, tiene múltiples aplicaciones en la actualidad, algunas de ellas van desde la reparación de estructuras hasta la confección de elementos estructurales en donde se emplea conjuntamente con agregado precolocado.

La presente investigación propone la utilización de gráficas que serán de gran ayuda para el diseño de grout, las mismas que se basan en el proporcionamiento y combinación de sus componentes cemento, arena y agua. La investigación se desarrolla desde el análisis de las características de los componentes utilizados para la confección del grout, como son: material cementante cemento Pórtland tipo IP, puzolana clase N, material fino (agregado fino), y aditivo plastificante reductor de agua.

La puzolana empleada en esta investigación son cenizas volcánicas (piedra pómez) molida, proveniente del norte del país, la misma que cumple con los requisitos químicos y físicos mínimos expuestos en ASTM C 618 para cenizas volantes u otro material puzolánico.

Para la confección del grout, se utilizó la práctica normalizada para el proporcionamiento de grout descrita en la norma ASTM C 938, posteriormente se realizó el diseño de mezclas de prueba de donde se obtienen las graficas para diseño tomando en cuenta las variaciones de los componentes: material cementante-arena, resistencia-fluidez y arena-fluidez; para distintos porcentajes de puzolana y relación agua-material cementante, se obtuvieron en total 105 combinaciones.

De las graficas obtenidas se determina las proporciones de cada material para confeccionar nuestro grout, el mismo que ha sido sometido en el laboratorio a las pruebas que exigen las normas ASTM para comprobar sus propiedades, como son: fluidez (C 939), expansión y contracción de lechadas en estado fresco (C 940), retención de agua (C 941), masa unitaria (C 185), tiempo de fraguado inicial y final (C 953), y resistencia a la compresión (C 942).

Los resultados que se obtienen al final de la investigación se resumen en las graficas para el diseño que se presentan en esta investigación y se realiza una prueba de utilización práctica de este grout en la fabricación de un hormigón con agregado precolocado que es otra investigación que desarrolla este laboratorio.

Palabras-clave: Grout, calidad, construcción.

^a Estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil, UTPL, E-mail: levaldivieso@utpl.edu.ec

^b Ingeniero Civil, Área de Materiales de Construcción, UCG-UTPL, E-mail: mfvalarezo@utpl.edu.ec



1. INTRODUCCIÓN.

El hormigón en su campo de aplicación esta enfrentado a superar las exigencias de bombeabilidad, compactación y flujo a través de elementos largos y estrechos. Estas exigencias constructivas nos obligan a requerir hormigones capaces de vencer grandes densidades de acero, agregado grueso y tuberías, sin descuidar su resistencia y durabilidad.

El grout o lechada de relleno ampliamente utilizado en países como EE.UU. y algunos de Latinoamérica, presenta una solución a estas expectativas. El grout se ha definido como una lechada de material cementante (cemento - puzolana) y agua, con o sin agregados que es inyectada en grietas, canales y otros espacios y fisuras en el concreto. Los grouts son proporcionados para producir una consistencia vertible sin que haya segregación de los constituyentes [SIDNEY, FRANCIS y DAVID, 2 002].

Existe una gran variedad de aplicaciones del grout, así tenemos: llenado de grandes espacios anillados, llenado de elementos fabricados, reparación y rehabilitación de estructuras, control de filtración en estructuras e impermeabilización de tuberías filtrantes [WARNER, 2 004]. Una aplicación directa se puede observar en la fabricación de elementos estructurales con agregado precolocado.

Es así que la presente investigación propone el diseño de grouts de resistencia media (21 MPa – 38 MPa) para concreto con agregado precolocado, que cumpla con las características mencionadas de resistencia y durabilidad. Este grout proporciona la adherencia adecuada de los agregados, eliminando la posibilidad de que se creen espacios vacíos entre estos.

2. OBJETIVOS.

Los objetivos planteados en esta investigación son los siguientes:

- Determinar las características de los materiales constituyentes del grout.
- Determinar el comportamiento y propiedades del grout en estado fresco y endurecido.
- Encontrar la relación óptima material cementante / arena para un grout que será utilizado con agregado precolocado.

3. CONSTITUYENTES DEL GROUT.

El grout producido en esta investigación se compone de arena, cemento, puzolana, aditivo y agua. Como árido fino se empleó arena procedente del río Boquerón, Sector Catamayo, Provincia de Loja, la misma que se tamizó por la malla No. 16 (1.18 mm), como recomienda el investigador James Warner. La granulometría resultante se presenta en la figura 1.

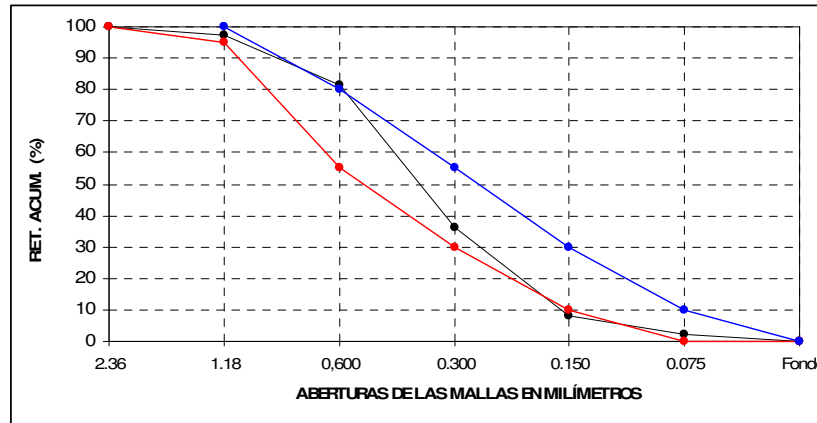


FIGURA 1: Curva granulométrica del árido fino.

Los parámetros físicos del árido fino empleado se muestran en la tabla 1.

TABLA 1: Parámetros físicos del árido fino.

Parámetro	Prom.	Norma
Módulo de Finura	1.85	ASTM C 637-R03
Finos menores a 75 micras (%)	2.56	ASTM C 117-03
Densidad Real sss (gr/cm ³)	2.63	ASTM C 128-01
Densidad Real Seca (gr/cm ³)	2.61	ASTM C 128-01
Densidad Relativa Aparente (gr/cm ³)	2.68	ASTM C 128-01
Absorción (%)	0.96	ASTM C 128-01
Densidad Aparente Suelta (%)	1.35	ASTM C 128-01
Densidad Aparente Compactada (%)	1.51	ASTM C 128-01

Como material cementante, se utilizó cemento Pórtland tipo IP, con densidad 2.93 gr/cm³, la puzolana empleada es piedra pómez molida procedente del centro del país (Riobamba), la misma que fue clasificada según ASTM C 618-03 como clase N. Se emplea agua potable. El aditivo utilizado fue un plastificante reductor de agua para hormigón, con las siguientes características y propiedades que se encuentran en la tabla 2.

TABLA 2: Características y propiedades del aditivo.

Nombre Comercial	ADITEC 100N
Densidad (gr/cm ³)	1.14±0.01
pH	9.16
Color	Café oscuro
Cloruros	No contiene

4. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Para el proporcionamiento de los constituyentes, se partió de las proporciones 2.5:1 a 3.5:1 de cemento-puzolana en masa, una relación de 1:1 de material cementante (cemento y puzolana) – agregado fino en masa y una relación agua-material cementante (w/cm) de 0.42 a 0.5, según recomienda el ACI 304R-00; además como referencia se utilizaron relaciones de 25 a 50 % de puzolana por peso de cemento, y de 100 al 150 % arena por peso del material cementante [WARNER, 2 005].



Las proporciones que se emplearon para realizar las mezclas de prueba, se resumen en la tabla 3. La elaboración del grout se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en ASTM C 938-02, y se preparó una cantidad de 1.90 litros para las mezclas de prueba y de 2.75 litros para las proporciones ideales en el laboratorio.

TABLA 3: Proporciones de los componentes.

Parámetro	Rango
w/cm	0.4 – 0.64
Puzolana	0 – 50 %
Arena	100 -150 %
Aditivo	150 cm ³ /saco de cemento

Las mezclas de prueba experimentales iniciales, presentaron valores muy altos de fluidez, para las relaciones agua-material cementante comprendidas en el rango de 0.4 a 0.54, y para valores de puzolana comprendidos en el rango de 15 a 50 %; razón por la cual se decidió trabajar con relaciones agua-material cementante superiores a 0.54, y porcentajes de puzolana inferiores al 15 %.

Manteniendo la relación w/cm constante y variando el porcentaje de arena en intervalos de 10 %, para un rango de 100 a 150 %, para 0, 5 y 10 % de puzolana, se obtuvieron 18 proporciones. Variando las relaciones w/cm, a intervalos de 0.02, para un rango de 0.56 a 0.64, se obtuvieron un total de 90 proporciones, las cuales se muestran en las figuras 2, 3 y 4.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Con los rangos de variación de los constituyentes encontrados, se confeccionó las curvas Arena-Fluidez, de las cuales se analizaron las dosificaciones con valores de consistencia, 22 ± 2 segundos de fluidez, rango que recomienda el ACI 304R-00 para mayor trabajabilidad en paredes y reparación de estructuras; y se encuentran delimitadas por las líneas horizontales entrecortadas en las figuras 2, 3 y 4.

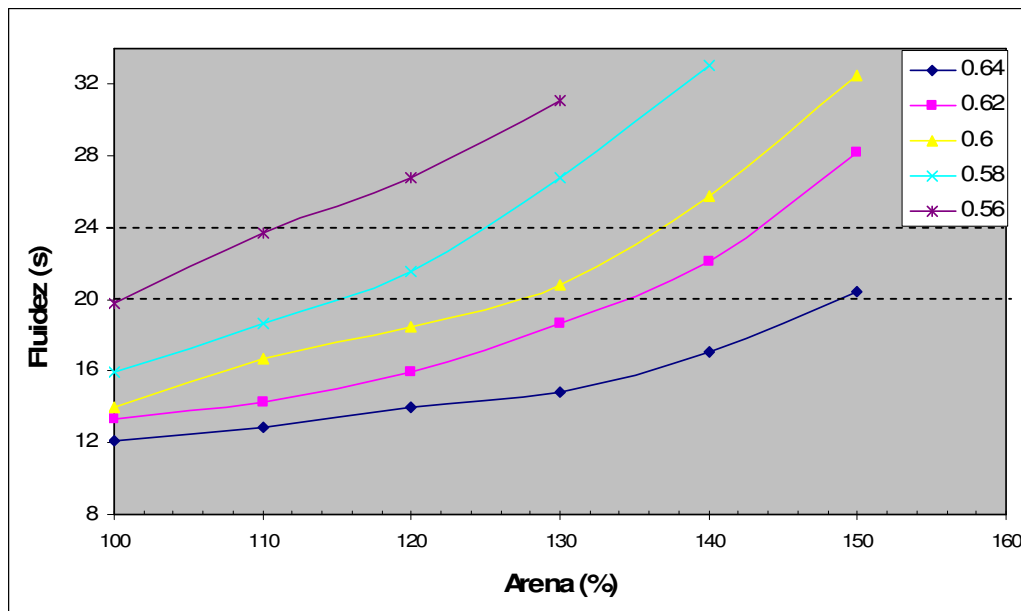


FIGURA 2: Sin puzolana.

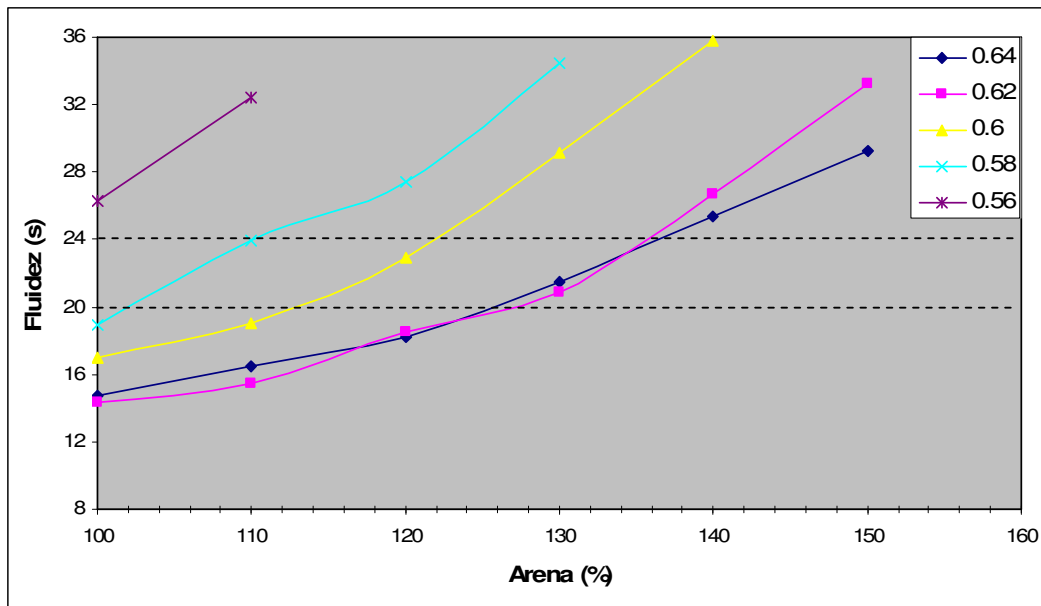


FIGURA 3: Porcentaje de puzolana del 5 %.

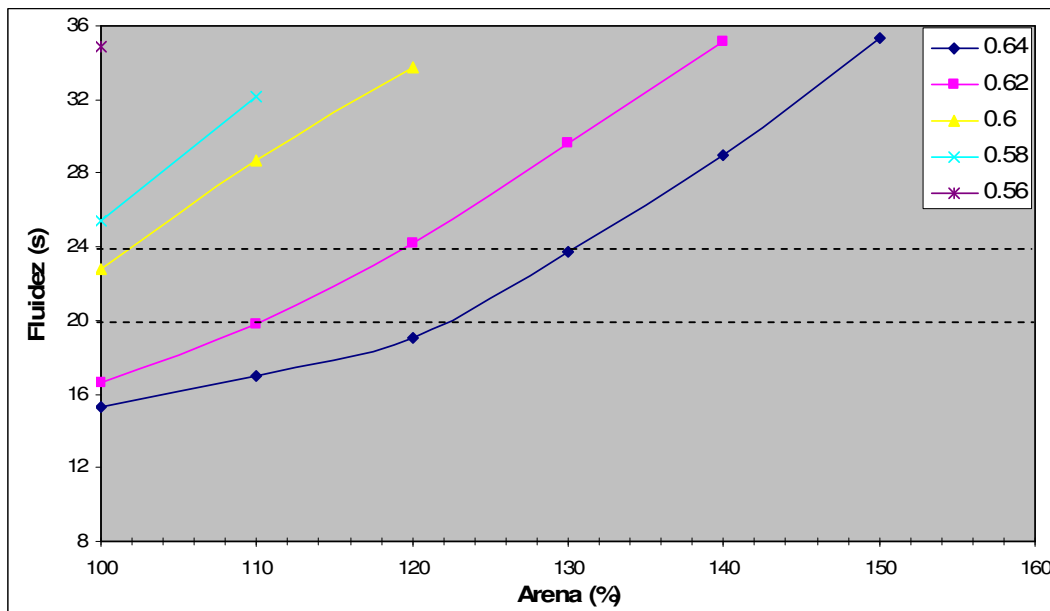


FIGURA 4: Porcentaje de puzolana del 10 %.

De las figuras 2, 3 y 4, y con las proporciones correspondientes a los valores de fluidez comprendidos en el rango de 22 ± 2 segundos, se tomó los valores de resistencia para dichas proporciones, los mismos que se resumen en las figuras 5, 6 y 7.

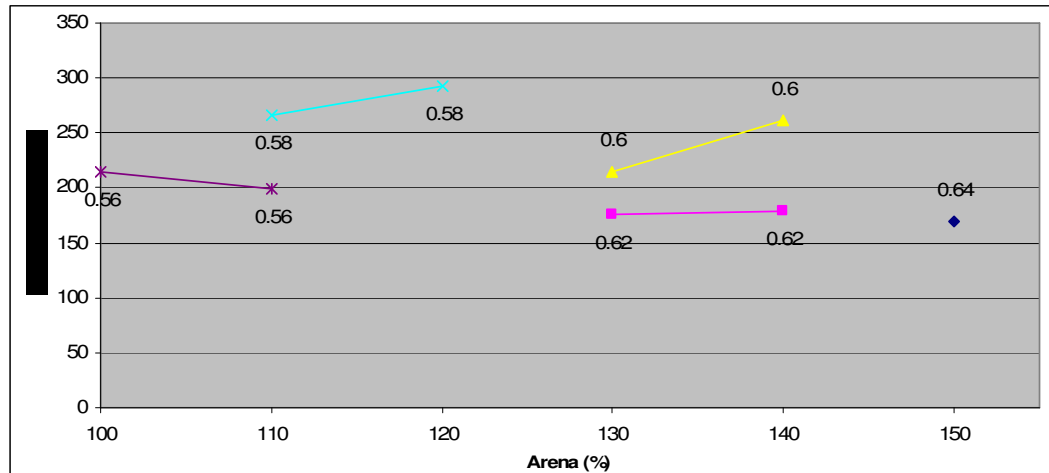


FIGURA 5: Sin puzolana.

Analizando la relación agua-material cementante 0.58, en la figura 5, se determina que el porcentaje ideal de arena para esta relación se encuentra en el rango de 110 a 120 %.

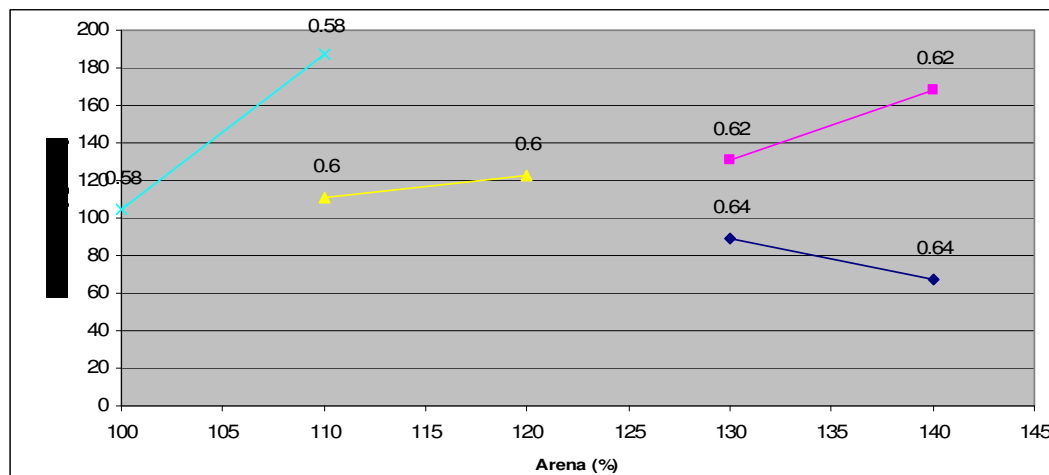


FIGURA 6: Porcentaje de puzolana del 5 %.

Continuando con el análisis, para esta misma relación, se tiene que cuando se añade puzolana a la mezcla de grout, el porcentaje de arena disminuye, ubicándose para este caso, en el rango de 100 a 110 %; además se observa un descenso de la resistencia de aproximadamente el 37 %, con respecto a la proporción sin puzolana. Figura 6.

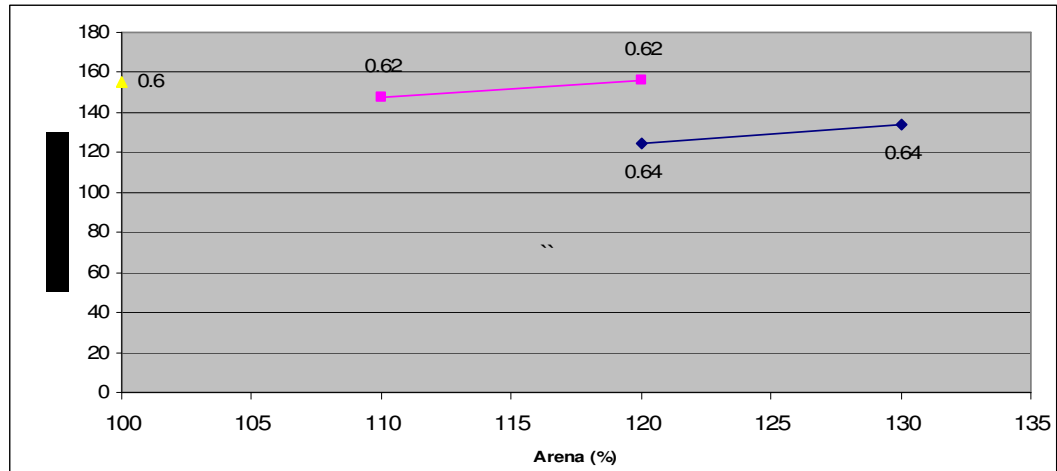


FIGURA 7: Porcentaje de puzolana del 10 %.

Y cuando el porcentaje de arena alcanza el 10 %, la relación $w/cm = 0.58$, no aparece en la figura 7, debido a que los valores de fluidez se encuentran fuera del rango 22 ± 2 s (figura 4). Teniendo presente los valores más altos de resistencia de las figuras 5, 6 y 7, se obtienen las proporciones ideales, que se presentan en la tabla 4.

TABLA 4: Dosificaciones ideales.

ID	w/cm	Puzolana (%)	Arena (%)
D1	0.58	0	120
D2	0.58	5	110
D3	0.62	10	120

Las mezclas de grout ideales, en estado fresco y endurecido, fueron sometidas a cinco ensayos y en el siguiente orden, según recomienda ASTM C 938-02.

a) **Consistencia (ASTM C 939-02).**- Se evalúa por el cono de fluidez (figura 8), la misma que se expresa por el tiempo en segundos que demora en descargarse un volumen de grout de 1725 ± 5 mL.

b) **Expansión y sangrado (ASTM C 940-R03).**- Consiste en colocar un volumen de 800 ± 10 mL de grout fresco en una probeta y tajarla (figura 9), para evitar evaporación, y se determinan los volúmenes de grout y agua.



FIGURA 8: Tiempo de fluidez del grout fresco



FIGURA 9: Expansión y Sangrado del grout fresco.



c) **Retención de agua (ASTM C 941-02).**- Determina la capacidad de un grout para retener agua de amasado (figura 10). Este procedimiento consiste en mantener un mínimo de vacío de 95 KPa y determinar el tiempo empleado en extraer 60 mL de agua de la mezcla de grout.

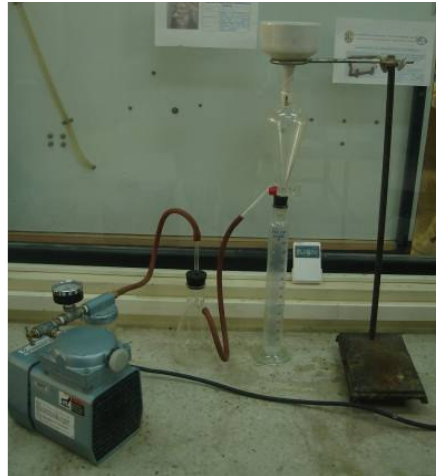


FIGURA 10: Extracción de agua del grout fresco (ASTM C 941-02).

d) **Contenido de aire (ASTM C 185-99).**- Es un método indirecto (gravimétrico), el cual consiste en llenar con grout un molde de 400 mL de volumen, en tres capas. Cada capa se compacta con una varilla de 152 mm de longitud y 16 mm de diámetro, con 25 golpes suaves.

e) **Resistencia a la compresión de cubos de 5 x 5 x 5 cm (ASTM C 109-02).**- Se ensayan a las edades de 7 y 28 días, con una velocidad de carga de 900 a 1800 N/s.



FIGURA 11: Curado de cubos de grout.



FIGURA 12: Ensayo a la compresión de cubos de grout.

Las características de las mezclas de grout ideales se muestran en la tabla 5, las mismas que se determinaron de acuerdo a los ensayos antes indicados.

TABLA 5: Características de las mezclas de grout ideales.

ID	CONDICIONES LAB.		Fluidez (s)	EXP. Y SANG.		RET. AGUA		Cont. Aire (%)	RESISTENCIA (MPa)	
	Temp. Amb. (°C)	Humedad (%)		Exp. (%)	Sang. (%)	Tiempo (mín)	Agua Ext. (mL)		7 días	28 días
	D1	19		47	21.34	-1.74	1.03		27	55
D2	19	49	23.1	-0.06	0.26	16.32	47.5	1.626	25.86	37.65
D3	19	57	24.3	-0.41	0.4	16	55	0.354	13.65	18.93

Con los valores de resistencia de las columnas 10 y 11 (tabla 5), representados en la figura 13,



se determina que la resistencia aumenta conforme la edad del grout lo hace; teniéndose un porcentaje óptimo de puzolana del 5 %.

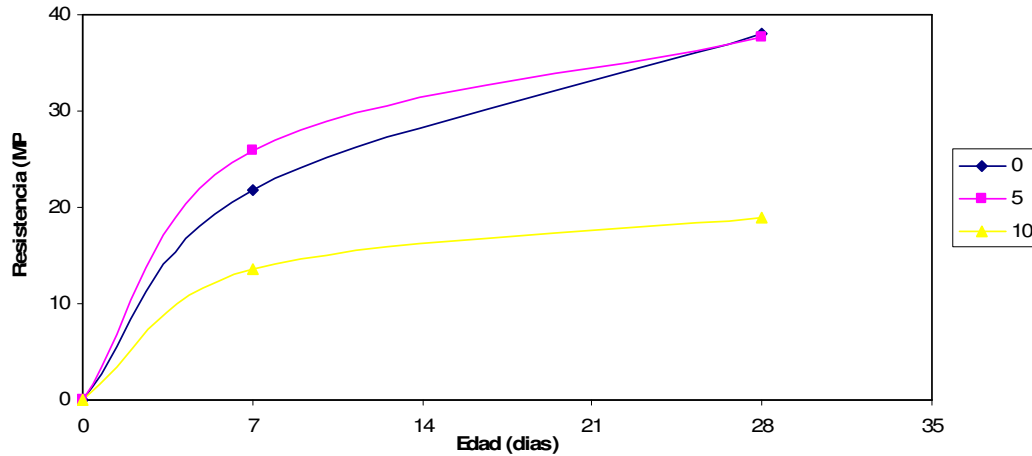


FIGURA 13: Resistencia vs. Edad, para 0, 5 y 10 % de puzolana.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Después de analizar las figuras obtenidas, se tienen las siguientes conclusiones:

- De las figuras 2, 3 y 4 se determina que el tiempo de fluidez es directamente proporcional al porcentaje de arena, y al porcentaje de puzolana.
- De la tabla 5, columnas 5, 6, 7 y 8, se determina que la presencia de puzolana en una mezcla de grout, disminuye la expansión y sangrado, y retiene por más tiempo el agua.
- En cuanto a la resistencia, según la figura 13, esta es afectada enormemente con la presencia de puzolana, en porcentajes mayores al 5 %.
- De la figura 13, se determina que la relación óptima material cementante / arena es $w/cm = 0.58$, Puzolana = 5 %, Arena = 110 % y $f'c = 37.65$ MPa.

Como recomendaciones a ser tomadas en cuenta en un trabajo investigativo de este tipo, tenemos:

- Para determinar el tiempo de fluidez de mezclas de grout, realice por lo menos tres ensayos consecutivos y tome el valor promedio.
- En la prueba de Retención de Agua, si no se dispone de una bomba de vacío de 28 in-Hg, determínese el tiempo necesario para una cantidad de agua menor a 60 mL.

7. REFERENCIAS.

1. WARNER James, Preplaced Agrégate Concrete, September 2 005.
2. WARNER James, Practical Handbook of Grouting: Soil, Rock and Structures, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2 004.
3. Department of the Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center, Standard Specifications for Repair of Concrete, United States of America, August 1 996.
4. SIDNEY Mindess, J. FRANCIS Young, DAVID Darwin, Concrete, Prentice Hall, Segunda Edición, United States of America, 2 002.



5. KOSMATKA Steven H., KERKHOFF Beatrix, PANARESE William C., TANES Jussara, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, PCA (Portland Cement Association), 2 004.
6. NRMCA, <http://www.nrmca.com>, Concrete in Practice: Whay, Why and How. CIP 22 –Grout, 1 998.
7. ACI Committee 304, “Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete (ACI 304R-00)”, American Concrete Institute.
8. ACI Committee 347, “Guide to Formwork for Concrete (ACI 347-01)”, American Concrete Institute.
9. ACI Committee 116, “Cement and Concrete Terminology (ACI 116R-00)”, American Concrete Institute.
10. ASTM C 33-03 “Standard Specification for Concrete Aggregates”, ASTM International.
11. ASTM C 109-02 “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens)”, ASTM International.
12. ASTM C 128-01 “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate”, ASTM International.
13. ASTM C 150-04 “Standard Specification for Portland Cement”, ASTM International.
14. ASTM C 185-99 “Standard Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar”, ASTM International.
15. ASTM C 188-R03 “Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement”, ASTM International.
16. ASTM C 311-04 “Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland Cement Concrete”, ASTM International.
17. ASTM C 430-96 “Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45- μm (No. 325) Sieve”, ASTM International.
18. ASTM C 618-03 “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete”, ASTM International.
19. ASTM C 637-R03 “Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete”, ASTM International.
20. ASTM C 938-02 “Standard Practice for Proportioning Grout Mixtures for Preplaced-Aggregate Concrete”, ASTM International.
21. ASTM C 939-02 “Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)”, ASTM International.
22. ASTM C 940-R03 “Standard Test Method Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grout for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory”, ASTM International.
23. ASTM C 941-02 “Standard Test Method for Water Retentivity of Grout Mixtures for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory”, ASTM International.
24. ASTM C 942-R04 “Standard Test Method for Compressive Strength of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory”, ASTM International.
25. ASTM C 943-02 “Standard Method for Making Test Cylinders for Determining Strength and Density of Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory”, ASTM International.