

Tabla VII.- Resultados de ensaye de resistencia a la compresión (kg/cm^2) obtenidos del concreto hecho con cemento Portland común de Addis Abeba (2)

Relación A/C en peso	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
Edad en días											
7	395	319	259	208	194	166	140	109	104	83	72
28	566	459	405	356	337	275	241	193	181	138	130
180	726	636	545	513	481	420	377	324	304	246	230
360	726	668	575	523	470	426	377	325	303	240	235

N.B.: Las cantidades en la tabla VII son el promedio de 3 especímenes.

Comentarios

Cemento:

Los resultados de los análisis químicos muestran que el cemento usado en el presente estudio tiene un contenido relativamente más alto de SiO_2 (26.3%) que el cemento Portland común de la misma fábrica (20%) (2) y relativamente más bajo contenido de CaO (53.6%). El promedio del contenido de CaO en el cemento Portland común es alrededor del 63%.

Examinando la tabla I nos muestra que la cantidad de residuos insolubles es más bien alta. El requerimiento del cemento Portland común, de acuerdo con la norma B.S. 12, es de 1.5% (máximo). Este valor representa la fracción de cemento que es insoluble en ácido hidroclorehídrico (3). Según Czernin (3): "Casi todos los compuestos arcillosos presentes en la materia prima del cemento Portland son insolubles en ácidos. Es sólo después de la reacción con la cal que esta propiedad es radicalmente alterada en una forma tal que, después de quemar hasta la clinkerización todos los materiales presentes llegan a ser solubles en ácidos. Por esta razón, la cantidad de residuos insolubles en un cemento dado, puede servir como un indicador de las reacciones que hayan ocurrido en el horno durante la clinkerización.

Concreto Fresco

Las puzolanas naturales son reportados como mejoradoras de muchas de las cualidades del concreto. Cuando se usan buenas puzolanas naturales en el concreto, se obtienen las siguientes ventajas (4): Mejoramiento en la manejabilidad del concreto fresco, más bajo calor de hidratación, reducción en el cambio volumétrico térmico, menor permeabilidad al agua, mayor resistencia a las aguas y suelos sulfatados y al ataque de agua de mar, reducción de la expansión destructiva causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis en el cemento, y una reducción del costo de los materiales cementantes. Por otra parte, los efectos adversos en la calidad del concreto pueden ser inducidos si se usan puzolanas de inferior calidad o en excesivas cantidades se encontraron efectos adversos tales como reducción de la velocidad, de endurecimiento y desarrollo de la resistencia, incremento de la contracción por secado y aumento en las cantidades de agua requerida (4). Czernin (3) cree que aunque la reacción entre la cal y el polvo de puzolana es acelerada por el aumento de la superficie específica del material puzolánico, tal polvo incrementa el requerimiento de agua de la mezcla. Davis (5) ha reportado que las puzolanas usadas como sustitutos del cemento generalmente incrementan las cantidades requeridas de agua en morteros y concretos. El incremento en el requerimiento de agua de algunas puzolanas es atribuible a su alta absorción, a su bajo peso específico y a su alta superficie específica (6).

Los resultados de los ensayos de laboratorio muestran que la piedra pómez usada en el presente estudio tiene una alta absorción de agua. En un estudio reciente donde se usó escoria de la falla del Valle Etíope como material puzolánico, no se experimentaron efectos adversos en la manejabilidad de las mezclas de mortero fresco (7). Sin embargo, como anteriormente fue establecido, las mezclas de concreto utilizadas en el presente estudio dieron valores de revenimiento significativamente menores que los obtenidos en mezclas preparadas con cemento Portland común (Tabla III y Fig. 1).

Un examen de los resultados de los análisis químicos muestran que la cantidad de residuos insolubles es muy alta. Ese valor tan alto nos da una indicación de la cantidad de material arcilloso que el cemento contiene. Este material arcilloso podría fácilmente ser introducido en el clinker a menos que algún operador esté al pendiente con la calidad del material puzolánico natural (piedra pómez en el presente caso). El valor de la superficie específica del "Cemento Portland Puzolana" usado en la presente investigación es más bien alto ($4010 \text{ cm}^2/\text{g}$) comparado con el del cemento Portland común usado en una investigación anterior (2) ($2716 \text{ cm}^2/\text{g}$). Estos dos parámetros, la alta superficie específica y el alto valor de residuos insolubles (material arcilloso), más la propiedad de alta absorción de agua de la piedra pómez, se puede creer que son los principales factores que afectan adversamente a la manejabilidad de las diferentes mezclas de concreto fresco.

Concreto EndurecidoSerie 1

Anteriormente se mencionó que los resultados de los análisis químicos de las muestras representativas de cemento usados en el presente estudio mostraron que el contenido de residuos insolubles (material arcilloso) es inusualmente alto.

Tal material absorberá mucha agua, de tal modo que disminuirá la relación neta de agua-cemento, lo cual en cambio tendrá un efecto positivo en la resistencia a la compresión del concreto siempre que su efecto adverso en la manejabilidad del concreto fresco sea superado y se logre una compactación apropiada. Este efecto podrá ser observado si uno compara los resultados dados en las tablas V y VII. Para la misma relación agua-cemento, las mezclas que tienen "Cemento Portland-Puzolana" mostraron ligeramente más altas resistencias a la compresión que aquéllas preparadas con cemento Portland común. Sin embargo, esto no es verdadero para todas las relaciones agua-cemento. La mezcla con una relación agua-cemento de 0.35 mostró consistentemente valores más bajos para todas las edades. La razón principal de que haya sucedido esto, como fue antes mencionado, fue el efecto adverso del material arcilloso en el cemento y su alta superficie específica más la propiedad de alta absorción de agua de la piedra pómez sobre la manejabilidad del concreto fresco fue tan pronunciada que la compactación apropiada no fue alcanzada en este caso, con el consecuente efecto adverso en la resistencia a la compresión del concreto.

Serie II

Como ya fue antes mencionado, en los sitios de construcción, el técnico que fabrica el concreto añadirá agua a la mezcla hasta que esté satisfecho de que tiene el concreto fresco con la manejabilidad que está buscando. Por esta razón, es importante comparar los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos de las mezclas de concreto teniendo casi la misma manejabilidad (valores de revenimiento) que las mezclas de concreto con las mismas relaciones agua-cemento. De ahí que, la Serie II se incluyó en el presente estudio. El objetivo de la Serie II fue producir mezclas de concreto fresco teniendo casi la misma manejabilidad (revenimiento), añadiendo la cantidad de agua extra necesaria, como se hizo en las mezclas usadas en la investigación anterior (2) y ver la influencia de la cantidad extraordinaria de agua en la resistencia a la compresión.

Como se esperaba, la cantidad de agua extraordinaria añadida, afectó adversamente los valores de la resistencia a la compresión obtenidos de diferentes mezclas (comparar los resultados dados en la tabla V y VI). Las deficiencias en la resistencia a la compresión fueron más altas a edades tempranas y más bajas a edades mayores. Los promedios de los valores de las diferentes edades fueron: 21%, 20%, 15% y 7% para 7, 28, 180 y 360 días, respectivamente. Estos valores son interesantes porque confirman las bien conocidas características del cemento Portland-puzolana de baja velocidad para ganar resistencia con

el tiempo a edades tempranas (Fig. 2). Ya que la resistencia a los 28 días es la que generalmente se toma y se usa en el diseño, lo cual es de interés práctico para la mayoría de los ingenieros y contratistas la deficiencia de la resistencia a esta edad.

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

Se hacen las siguientes conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados de la presente investigación:

- 1.- El "Cemento Portland-Puzolana" de Addis Abeba tiene un mayor requerimiento de agua que el cemento Portland común.
- 2.- El mayor requerimiento de agua incrementa la relación agua-cemento, lo cual en cambio afecta adversamente los resultados de la resistencia del concreto preparado con el "Cemento Portland-Puzolana". Los efectos adversos del lento endurecimiento y el mayor requerimiento de agua en las propiedades del cemento sobre la resistencia a la compresión del concreto a la edad de 28 días es alrededor del 20%.
- 3.- Los efectos adversos en la manejabilidad de las mezclas de concreto fresco preparados con el "Cemento Portland-Puzolana" podrán ser reducidos mediante (a) mejorando la calidad de la piedra pómez (abatiendo el contenido de arcilla) que se añade al clinker, (b) no utilizando cantidades excesivas de piedra pómez, y (c) no moliendo la mezcla (clinker más piedra pómez) excesivamente hasta una superficie específica más allá de lo requerido por las especificaciones.

RECONOCIMIENTO

El autor desea agradecer la ayuda dada por el personal miembro del Departamento de Ensayes e Investigación de Materiales de la Facultad de Tecnología (Campo Sur) de la Universidad de Addis Abeba especialmente en la preparación y ensaye de los especímenes.

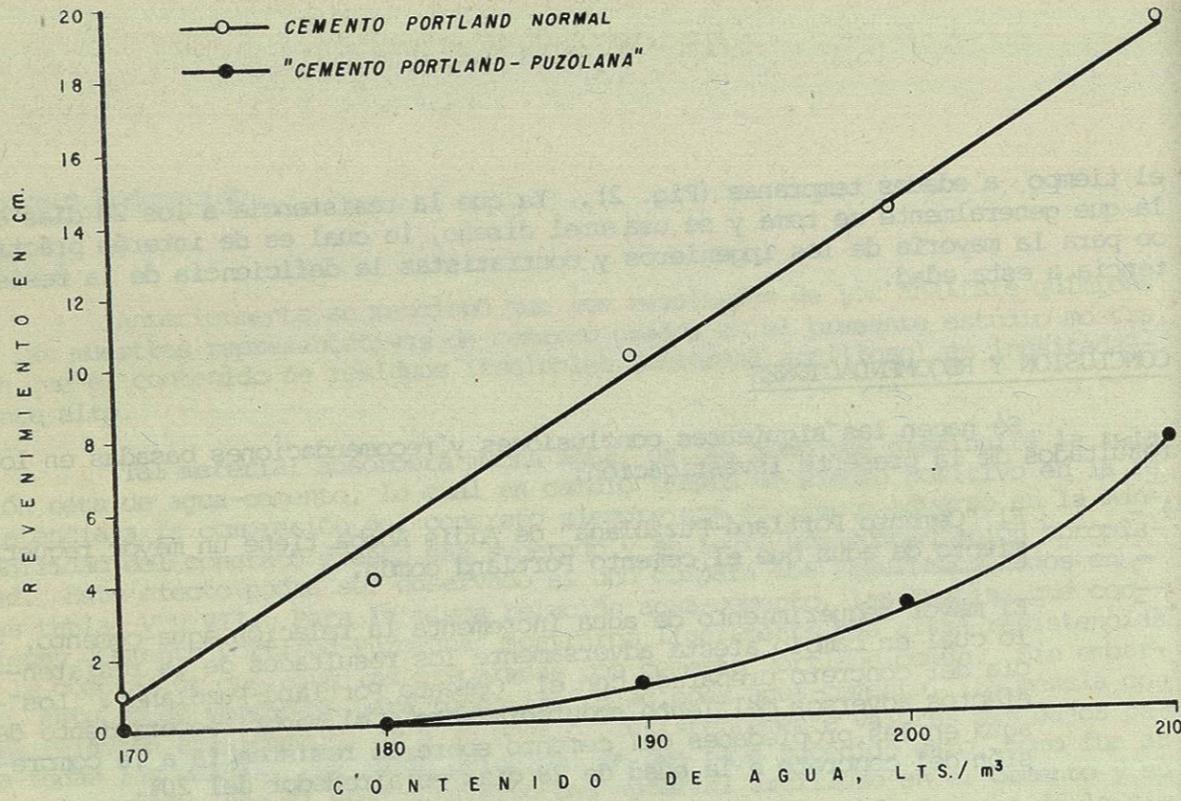


FIG.1 - INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE AGUA SOBRE EL REVENIMIENTO EN MEZCLAS DE CONCRETO PREPARADAS CON "CEMENTO PORTLAND-PUZOLANA" Y CEMENTO PORTLAND NORMAL.

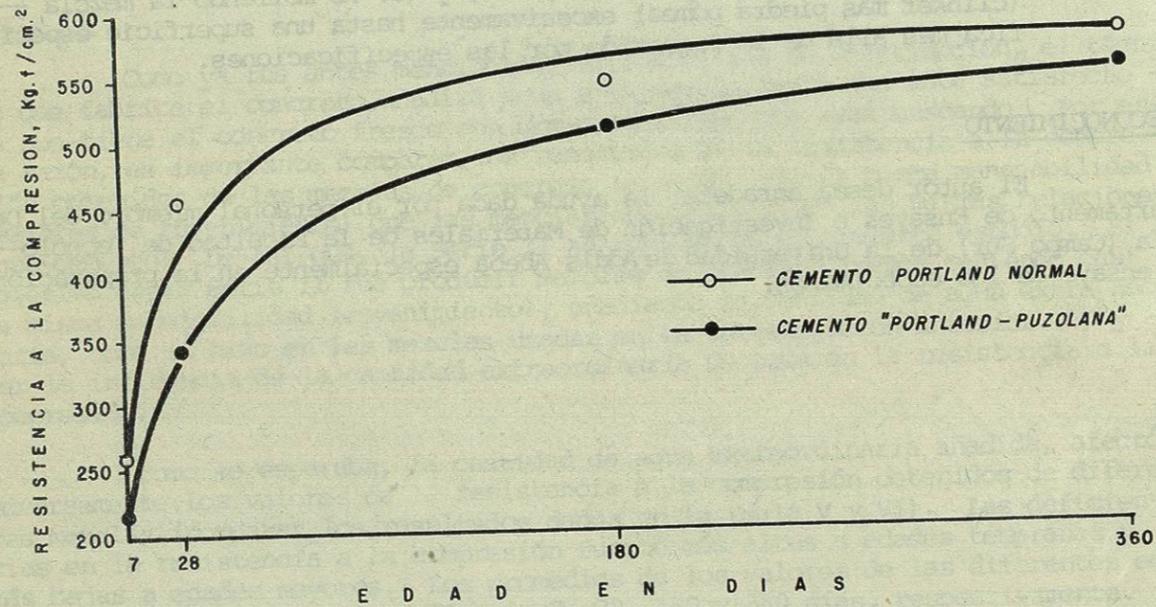


FIG.2- DESARROLLO TIPICO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA EDAD DEL CONCRETO PREPARADO CON CEMENTO PORTLAND NORMAL Y "CEMENTO PORTLAND PUZOLANA" PARA LA MISMA TRABAJABILIDAD (REVENIMIENTO - 5 cm.)

REFERENCIAS:

- 1.- "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete", ACI Standard 211.1-70, 1970.
- 2.- Zawde Berhane: "Compressive Strength of Concrete with Addis Ababa Cement and Suggested Specifications", Building Centre, Addis Ababa, August 1966.
- 3.- Czsernin, W.: "Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers", Crosby Lockwood & Sons Ltd., London (1962).
- 4.- Price, W. H.: "Pozzolana - A Review", Journal of the American Concrete Institute, Proc. V. 72, May 1975.
- 5.- Davis, R. E.: "Symposium on use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes", ASTM Special Technical Publication No. 99, October 1949.
- 6.- "Concrete Manual", 7th Edition, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado (1963).
- 7.- Zawde Berhane: "Preliminary Investigation Results on the Pozzolanic Properties of Local Scoria", Building Centre, Addis Ababa, January 1967.

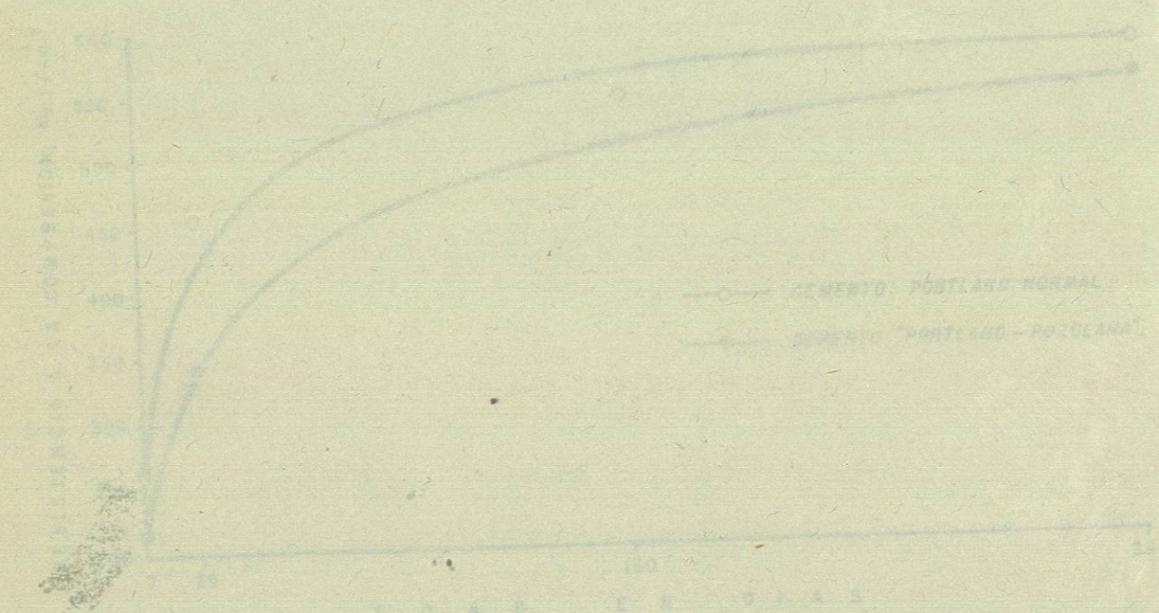


FIG. 2 - DESARROLLO TÍPICO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA EDAD DEL CEMENTO PREPARADO CON CEMENTO PORTLAND NORMAL Y CEMENTO PORTLAND PUZOLANA CON LA MISMA TRABAJABILIDAD Y REVENIMIENTO - 1/2 CM.

COMPARACION DE MEZCLAS DE CEMENTOS PORTLAND
CONTENIENDO ESCORIA DE ALTO HORNO, PUZOLANA
VOLANTE Y CENIZA VOLANTE.

MR. P. KUMAR MEHTA



B I O G R A F I A

El Sr. P. K. Mehta recibió su título de Licenciatura en Ingeniería Química, su grado de maestría en Ingeniería Cerámica y su grado de doctor en Ingeniería en Ciencias de Materiales e Ingeniería. Tiene 11 años de experiencia industrial en la fabricación de cementos y ha trabajado como asesor en varias compañías de cemento de los Estados Unidos y el Extranjero. El es un Fellow de la Sociedad Americana de Cerámica y miembro de varias organizaciones profesionales, como la ACI, la ASTM y la RILEM.

Actualmente, el Sr. Mehta es profesor de Ciencias en Ingeniería en el Departamento de Ingeniería Civil en la Universidad de California en Berkeley, California. Es autor ó co-autor de mas de 70 publicaciones, incluyendo 6 patentes, en el área de las propiedades del cemento y del concreto.

Profesor de Ingeniería Civil, Universidad de California, Berkeley, Calif.
1944-1947