

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE PERLITA EXPANDIDA EN HORMIGONES LIVIANOS

Señas, L. N.¹; P. J. Maiza^{2,3} y S. A. Marfil^{2,4}

1. Profesor Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.
2. Profesor Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur.
3. Investigador Independiente CONICET.
4. Investigador Adjunto s/d CIC.
Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan 670.
8000 Bahía Blanca. TE: 0291-4595184. FAX: 0291-4595148.
email: smarfil@criba.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo forma parte del estudio de hormigones livianos de perlita expandida frente a la acción de agentes agresivos presentes en el agua o suelo de contacto. En esta etapa se evaluaron las características del material expandido y su comportamiento en el hormigón. El análisis se efectuó desde dos puntos de vista: mineralógico y mecánico.

En el estudio del material suelto y su relación con el compuesto cementicio, se utilizó estereomicroscopio, microscopio de polarización, difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido y EDAX.

Para evaluar su comportamiento en estado fresco y endurecido (densidad, rendimiento, resistencia a flexión y compresión, etc.), se determinaron las características físicas de la perlita y se dosificaron diferentes mezclas en condiciones de elaboración variables, tanto para pequeños como grandes volúmenes.

En los morteros elaborados, el estudio mineralógico permitió identificar abundante calcita y portlandita asociada a la perlita expandida.

La dosificación y el método de elaboración fueron motivos de intensa experimentación dado que el producto obtenido (fresco o endurecido) es sumamente susceptible a las variaciones composicionales y a los métodos de mezclado.

INTRODUCCIÓN

En la Puna Argentina, se encuentran en explotación varios yacimientos de vidrio volcánico para la producción de perlita expandida. Este material, por sus características petrológicas, texturales y capacidad de expansión al ser calcinadas, resulta de interés por su posibilidad de uso como adición activa en hormigón (1, 2), debido al bajo peso específico. El material natural se extrae del distrito de Quirón, (Prov. de Salta) y se expande en la Prov. de Santa Fe.

Es utilizado como agregado grueso y/o fino en hormigones y/o morteros junto con cemento portland, agua y un aditivo incorporador de aire. Produce un material de baja densidad, que puede ser destinado a estructuras que requieran tener un bajo peso propio y una importante aislación. Es de hacer notar que la poca rigidez y resistencia del grano hace que no pueda usarse para hacer elementos estructurales, que deban soportar cargas importantes.

La utilización de un aditivo inclusor es necesaria para mejorar la trabajabilidad y minimizar los volúmenes de agua de mezclado. El conjunto perlita-cemento-agua, forma una mezcla difícil de manipular y por lo tanto de obtener buenos resultados en la estructura terminada. El agregado de dicho aditivo, en porcentajes que resultan muy superiores a los empleados en morteros u hormigones tradicionales, mejora notablemente la trabajabilidad, controla la exudación y favorece la baja densidad. Las oclusiones de aire hacen la pasta de cemento más pegajosa: es como si le aumentáramos la cantidad de polvo contenida en el fino. Debido a ello, a la disminución de la densidad de la pasta cementicia y aproximarse un poco más a la del árido se ve limitada la tendencia a la disgregación.

La correcta proporción entre los materiales constituyentes permite la obtención de un mortero liviano, y fácilmente moldeable, que presenta el inconveniente de que pequeñas desviaciones en la dosificación llevan a errores muy importantes, por ejemplo, notable aumento de la densidad y en otros casos la obtención de un material incoherente que no cumple con las mínimas necesidades estructurales (3).

MATERIALES EMPLEADOS

Perlita: Para todas las experiencias se utilizó un mismo material muestreado de una única partida y con una clasificación granulométrica constante. Sabido es que al aumentar el tamaño del grano disminuye su rigidez y resistencia, lo que influye en las propiedades mecánicas del hormigón, por lo tanto, se trabajó con un solo tamaño nominal para no introducir más variables.

La parte muy fina observada con lupa proviene de la fragmentación por frotamiento de granos de mayor tamaño.

El tamaño nominal utilizado fue 6,55 – 0,297 mm

La densidad real de grano no es de interés en la práctica, salvo para la determinación de la porosidad.

La densidad aparente del grano determinada como la masa de una muestra dividida la sumatoria de los volúmenes de los granos dio 567 kg/m³.

La densidad suelta del árido (se debe tener en cuenta que se utilizó siempre en estado seco tanto en el laboratorio como en obra), fue de 121Kg/m^3 .

Al trabajar la perlita en estado seco se elimina en obra la duda de saber que porcentaje de agua real ha absorbido el material en los distintos puntos del acopio.

Características mineralógicas de la perlita:

Se analizaron las fracciones retenidas en los tamices 16, 30, 50 100 y pasa 100. En los tamaños mayores, la perlita se ha expandido en su totalidad, en el retenido 50 se encontró menos del 0,5 % del material vítreo natural. En la fracción 100, un 10 % del total queda en estado crudo y en el fondo del tamiz, este último es escaso.

En la figura 1a se muestra el material pasa tamiz 50 y retenido 100, donde es posible observar el vidrio natural que no desarrolló expansión (v), junto con la perlita expandida (Pe).

La perlita expandida, es un material blanco, brillante, altamente poroso, frágil y muy liviano. En la figura 1b, se muestra las características mencionadas, observadas con estereomicroscopio.

Analizada por difracción de rayos X, se confirmó que se trata de un producto amorfo (Figura 1c). Esta es una característica del material natural vítreo, que lo conserva y aún se intensifica al ser expandido durante el proceso de cocción.

Con el propósito de estudiar su morfología y composición química, se analizó con microscopio electrónico de barrido y EDAX. En la figura 1d se observa la textura de la perlita. Tiene una estructura esquelética formada por esferas huecas, de vidrio, de paredes extremadamente finas, menores de 80 micrones de espesor, lo que le otorga elevada porosidad y bajo peso específico. El análisis por EDAX permitió identificar Si, Al, O y K en su composición química (Figura 1e).

Agua: Tanto en el laboratorio como en la obra se hicieron morteros con agua potable tomada de la red de abastecimiento a la ciudad, la cual cumple con todo lo especificado en la Norma IRAM 1601 "Agua para morteros y hormigones".

Cemento: El cemento utilizado para las experiencias realizadas en laboratorio, al igual que para los pastones provistos en obra, fue siempre un mismo tipo Pórtland y de la misma fábrica.

Aditivo: En la introducción se hizo mención a la importancia que reviste el uso de un aditivo inclusor de aire. Para este trabajo se usó un mismo tipo de aditivo que se encuentra en este momento en el mercado proveniente de una única fábrica.

La cantidad y clase de un aditivo incorporador de aire es sumamente importante, ya que influye notablemente en las características mecánicas y aun en el aspecto superficial del hormigón terminado (4).

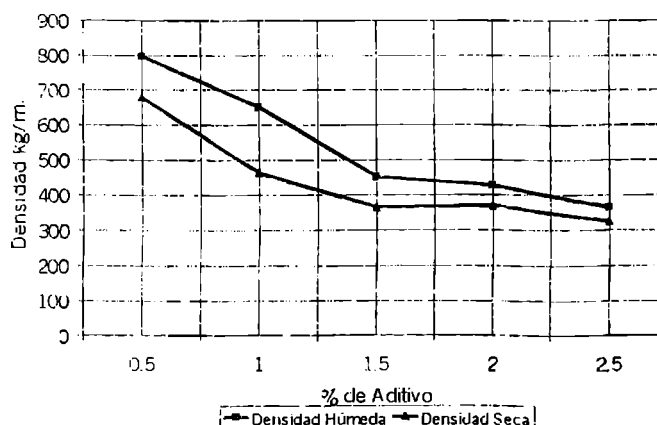
Cuando se dosifica es fundamental comprobar con ensayos, el comportamiento del aditivo, ya que hay importantes variaciones en los resultados obtenidos, tanto cuando los volúmenes utilizados no están bien calculados o se cambia de tipo de producto.

Se realizó una experiencia trabajando con uno de los morteros (clase C, tabla II), variando únicamente el volumen de aditivo agregado, es decir, se mantuvieron constante las proporciones de los materiales, la tecnología de envasado, moldeo y curado. Y se agregaron dosis crecientes de incorporador de aire, obteniéndose los resultados que se indican en la tabla I y Gráfico 1.

TABLA I

% aditivo respecto al peso de cemento	Densidad fresca (kg/m ³)	Densidad aparente (seca) (kg/m ³)
0.5	797	676
1.0	649	462
1.5	450	363
2.0	427	368
2.5	364	323

GRAFICO 1



De lo dicho anteriormente, se observa que para este conjunto de materiales y condiciones hay un punto de inflexión donde las densidades disminuyen considerablemente y el aspecto de las muestras cambia notablemente.

Para los porcentajes más bajos de aditivos se obtiene una determinada densidad y una muy buena terminación superficial, pero para mayores tenores de inclusores de aire el valor de las densidades disminuye mucho y las probetas presentan un aspecto superficial esquelético, con grandes oquedades y es fácilmente desgranable.

De los diferentes ensayos realizados, en la figura 1 se muestran dos probetas:

- a) La probeta 1 (figura 2a), considerada óptima por su textura terminada, densidad, y comportamiento en los ensayos físicos. Fue elaborada con 1 % de aditivo, y
- b) La probeta 2 (figura 2b), la que si bien tiene menor densidad, su resistencia disminuye considerablemente y el aspecto superficial es muy deficiente. Se le adicionó 2,5 % de aditivo.

En ambos casos, la única variable incorporada fue el contenido de aditivo.

DOSAJES ESTUDIADOS

Se proyectaron cinco dosajes que daban relaciones en volumen entre los componentes, de los que podrían usarse en obra, utilizando perlita como árido.

Es sabido que en materiales livianos no tiene demasiado sentido hablar de relación agua/cemento, ya que la cantidad de agua que se combina con el cemento no se puede precisar con exactitud. Esto es debido al volumen que interviene en la formación de la pasta de cemento, y a la cantidad que se ubica en los poros del agregado (5).

En el caso del material estudiado la cantidad de agua que ingresa a los poros es un porcentaje del que se mide para hacer el pastón, ya que la perlita entra a formar parte del mortero, en estado seco y cuando entra al elemento mezclador se encuentra con la pasta de cemento ya mezclada. Es decir, el material liviano se mezcla directamente con la pasta por lo tanto la cantidad de esta última debe ser tal que pueda rodear a todos los granos, lograr un buen vínculo, llenar los poros accesibles y quedar un resto para lograr algo esencial, la docilidad de la mezcla.

Resumiendo: El volumen de pasta depende del tamaño de los granos, composición granulométrica, condiciones de poro, rugosidad superficial, permeabilidad, forma y tiempo de amasado y vertido.

No puede precisarse con exactitud el porcentaje de agua que se encuentra dentro de los poros cuando comienza el fragüe. Por lo tanto no se puede calcular la relación agua/cemento.

La composición de este tipo de mezcla aislante es la relación entre los volúmenes de cemento, agua, aire y perlita calculados. En la tabla II se indican las mezclas estudiadas.

TABLA II

Tipo	Rel. Vol	CTO. (Kg).	Agua. (l).	Perlita. (Kg.)	Aditivo. (l)
A	1:4	350	240	121	3.5
B	1:5	280	230	121	2.8
C	1:6	230	220	121	2.3
D	1:7	200	210	121	2.0
E	1:8	175	200	121	1.8

NOTA: Relación en volumen cemento: perlita para un pastón de 1 m³.

TÉCNICAS DE ELABORACIÓN

Para elaborar los pastones se procedió de la siguiente manera:

- 1- Se pesaron los materiales con una precisión de 1 g.
- 2- Se utilizó una mezcladora para mortero normalizada de dos velocidades en la cual se colocó el aditivo, el agua y luego el cemento. Se batió durante 3 minutos en velocidad lenta, para después agregar en fracciones la perlita, hasta el completar el ingreso de todo el material.

En este momento se produce un entumecimiento del conjunto, hasta tal punto que es difícil su mezclado. Superada esa rigidez momentánea, que otorga al mortero un aspecto semiseco, se logró una mezcla espumosa y de mucha docilidad. Es un error agregar agua, al observar esa falta de trabajabilidad, sólo hay que seguir mezclando para lograr el producto deseado.

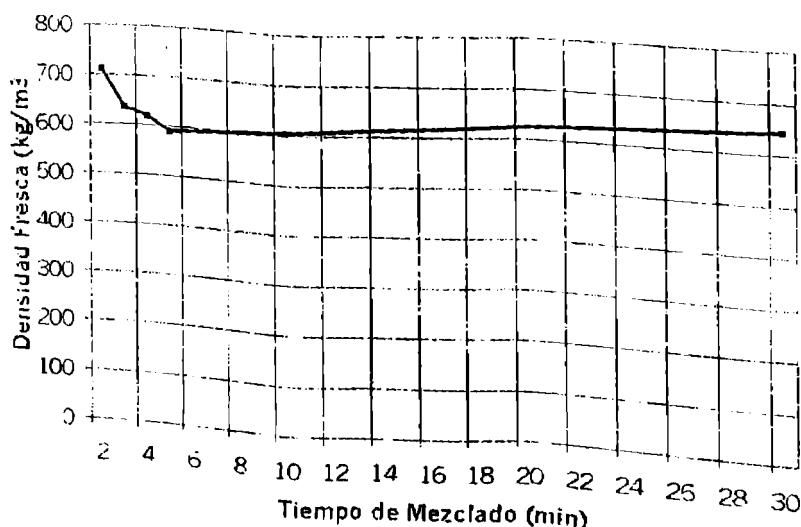
El moldeo de las muestras se realizó según lo indicado por las Normas IRAM para probetas destinadas a ensayos de compresión y flexión de morteros. Se desmoldaban a las 24hs y se curaron en cámara húmeda. Posteriormente se dejaron estacionar en ambiente de laboratorio hasta el momento del ensayo.

El tiempo de mezclado debe ajustarse para cada equipo probando qué valor de densidad fresca se obtiene para cada uno de ellos. Por ejemplo: para la mezcladora mencionada anteriormente, utilizando el dosaje C de la tabla I, se obtuvieron los resultados que se indican en la Tabla III y Gráfico 2, los cuales no coincidieron luego haciendo un pastón de igual composición de 3m³ de volumen, mezclados en un camión motohormigonero.

TABLA III

Tiempo de mezclado (min)	Densidad fresca (kg/m ³)
2'	711
3'	634
4'	617
5'	589
10'	603
Reposo 20'
30'	643

GRAFICO 2



Petrografía del hormigón:

El hormigón elaborado con perlita, desarrolla un material altamente poroso (p) y liviano, como se observa en la figura 2b. En la figura 2c se muestra un detalle de la perlita en el mortero. Nótese que debido a la irregularidad de la superficie externa, el contacto perlita-pasta aparece difuso, pero obteniéndose una adherencia perfecta.

El análisis por difracción de rayos X permitió identificar portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (p) en forma predominante con calcita (c) subordinada. El resto de las reflexiones corresponde a los silicatos de calcio del cemento (Figura 2d).

El análisis del mortero sobre secciones delgadas, con microscopio de polarización, permitió observar la distribución del aire retenido por la perlita. En la figura 3a puede observarse un fragmento colmado de burbujas de aire. La figura 3b muestra las diferentes morfologías y texturas de la perlita y en 3c puede relacionarse la porosidad de la perlita, el contacto neto perlita - cemento y el aire incorporado al cemento.

Con microscopio electrónico de barrido y EDAX, se analizaron las probetas con 1 % de aditivo. En la figura 4a se muestra la morfología de la perlita en el mortero. 4b corresponde al análisis con EDAX. Comparado con el resultado obtenido en 1d para la perlita natural, se observa la aparición de Ca y Na adjudicados al cemento.

En la figura 4c se muestra la elevada porosidad (p) desarrollada en el hormigón.

ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron los estudios necesarios para evaluar propiedades tales como resistencia, compresión, flexión, densidad fresca y densidad seca. Para ello se moldearon nueve probetas y nueve barras correspondientes a cada dosificación. Las muestras pertenecientes a una misma fórmula se hicieron en grupos de tres, obtenidas de distintos pastones. Se obtuvo una baja dispersión en los resultados, al respetar estrictamente el método de elaboración. (Tabla IV)

En general, los resultados fueron mayores que los obtenidos por otros autores, pero siempre dentro de un entorno bajo entre 1 y 4 MPa. Estas diferencias se atribuyen a la variación que existe en los materiales usados.

TABLA IV

Tipo	Rel. Vol	D. Fresca (Kg/m ³).	D. Seca (Kg/m ³).	Res. Com (kg/cm ²).	Mod. Rot (kg/cm ²).
A	1:4	715	695	39	7.2
B	1:5	634	558	28	6.2
C	1:6	570	492	18	5.8
D	1:7	532	446	13	4.2
E	1:8	498	408	10	4.0

Observación: Cada valor de densidad es el promedio de tres determinaciones y cada valor de resistencia es el promedio de nueve determinaciones.

No se encontró una relación que vincule biunivocamente el módulo de rotura, calculado en un ensayo de flexión y la resistencia a compresión.

El material tiene baja resistencia y densidad pero permite clavar clavos, y estos quedan firmemente sujetos, esto es importante ya que la propiedad de aceptar clavos es necesaria en algunos aislantes para sujetar otras piezas a ellos.

En este material es importante la determinación de la densidad fresca, es decir, la que se obtiene del mortero recién mezclado, ya que es un valor que está relacionado con todas las propiedades mecánicas.

La resistencia y el valor aislante dependerán de ésta, ya que a mayores valores se tendrá mayor resistencia y menor aislación. Por lo tanto, el valor de la densidad fresca que se fija como óptimo es una solución de compromiso entre la resistencia y la aislación necesaria, y se la indica con una tolerancia de 30 kg/m³ como para poder verificarla en obra.

Dentro del campo de los hormigones aislantes se define una relación entre el volumen del pastón obtenido y el volumen de agregado liviano incluido en él. Las experiencias de laboratorio que se realizaron para determinar cada mezcla debían tender a que esta relación se cumpliera con un valor del 100% o uno muy próximo. Como se observa en la tabla II, en general los resultados son satisfactorios.

Si se usan las correctas proporciones, un adecuado mezclado (teniendo en cuenta el tipo de equipo y el tiempo necesario), esta relación debe dar 100%. De no ser así debe verificarse el tipo, y el porcentaje de aditivo que se

ha utilizado, la secuencia de ingreso de los materiales al elemento mezclador y el procedimiento de mezclado. Si el batido es deficiente la relación indicada, dará menos del 100%, lo mismo sucede si el agua es superior a la necesaria.

Resumiendo: la suma del peso de todos los materiales que componen el hormigón dividido la densidad fresca dio el volumen de pastón obtenido. Si este valor se divide por el volumen de perlita empleado y se lo multiplica por 100 debe dar aproximadamente 100%.

EXPERIENCIA A ESCALA DE OBRA

Uno de los dosajes estudiados fue utilizado para fabricar aproximadamente 1300 m³ de hormigón aislante en una obra de ejecución sobre la ría de Bahía Blanca.

Para la elaboración del hormigón se usó el mismo equipo que la planta hormigonera utiliza para fabricar hormigones "tradicionales", es decir una planta automática que puede medir los materiales en peso y camiones motohormigoneros en muy buenas condiciones de funcionamiento.

- a) Se mezcló el agua y el aditivo con el cemento para lograr una pasta homogénea y espumosa.
- b) Se agregó la perlita la cual se proveía en bolsas de peso constante, y se acopiaba bajo techo. El ingreso de este material seco se hizo en fracciones como en el laboratorio.
- c) El hormigón se mezcló en planta, y luego sin rotación alguna del tambor, se trasladó a la obra la cual estaba ubicada a 1 km de la planta.
- d) Cuando el camión llegaba a pie de obra se batía en velocidad rápida, como mínimo 5 min. (Tiempo que se había evaluado previamente en función de la densidad fresca proyectada).
- e) Se verificó el valor de la densidad fresca utilizando una balanza y un recipiente destinado a tal fin aforado previamente. Si el resultado era satisfactorio se descargaba en forma normal.
- f) Siempre se trabajó con las mismas unidades motohormigoneras, no lavando nunca el tambor entre viaje y viaje, ya que eso altera la cantidad de agua del pastón. No debe olvidarse que pequeñas variaciones en la cantidad de agua alteran mucho los resultados de la densidad, en consecuencia la resistencia y la capacidad aislante del hormigón. Si al descargar el material parece seco o entumecido es que le falta tiempo de mezclado, el aspecto de la mezcla debe ser el de un hormigón de alto asentamiento. (15 cm). De no ser así debe seguirse batiendo hasta lograr la plasticidad indicada.

- g) El pastón que se realice primero tendrá un volumen menor al esperado, ya que un porcentaje se adhiere a la pared del tambor y queda como lubricante para toda la jornada. Cuando se realiza el último viaje se agrega un poco de agua (20 l) y dicha capa se desprende fácilmente pudiéndose la descargar sobre el material colocado anteriormente sin que este sufra perjuicios.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones estudiadas el hormigón de perlita resulta ser un material de baja densidad, fácil colocación y puede lograrse una buena terminación superficial.

No obstante estas propiedades se ven seriamente comprometidas por:

- a) La dosificación de la mezcla.
- b) La cantidad de aditivo incluser de aire utilizada.
- c) Las variaciones en el valor de la densidad fresca.
- d) El tiempo de mezclado en función del equipo disponible.

De lo dicho, tanto en el laboratorio como en obra es importante la determinación de la densidad fresca como valor para controlar la calidad, ya que es el parámetro que está ligado al resto de las propiedades del hormigón de perlita y al modo en que se lo produjo.

AGRADECIMIENTOS

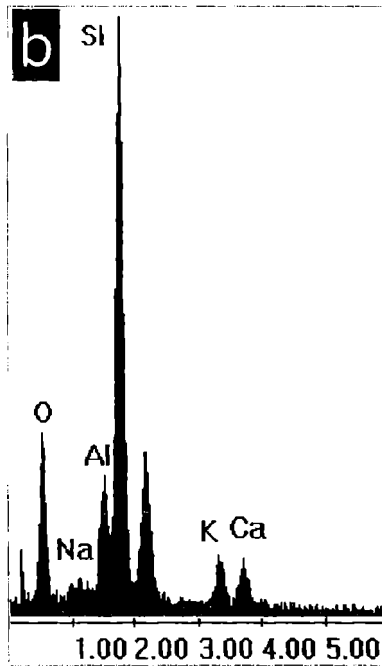
Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

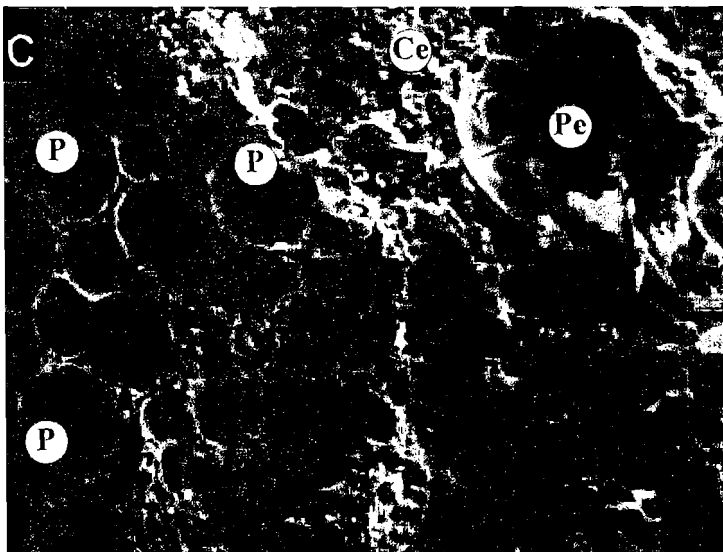
1. GEA, S; GALLEGUILLOS, F.; NOEL, G. "Estudio de perlitas como adiciones minerales para hormigones". Primer Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón. 327-333. 1998.
2. GEA, S; NOEL, G; TAPIA, A.; SUAREZ, O. "Perlitas de la Provincia de Salta - Nuevas aplicaciones tecnológicas". XIV Congreso Geológico Argentino. Actas II. 413-415. 1999.
3. METHA, K. P "Concrete structure, properties and materials".
4. Perlite Institute. "Pumping Equipment and Air Entraining Agents for Perlite Concrete".
5. KARL, S. "Hormigones Ligeros".

Figura 4 . microscopia electronica de barrido EDAX del hormigón con perlita

Características morfológicas de la perlita (Pe) y su relación con el cemento (Ce)



Análisis con EDAX del material observado en la figura 4a



Relación de la perlita (Pe) con el cemento (Ce) donde puede observarse la elevada

Figura 1 : Características mineralógicas de la perlita

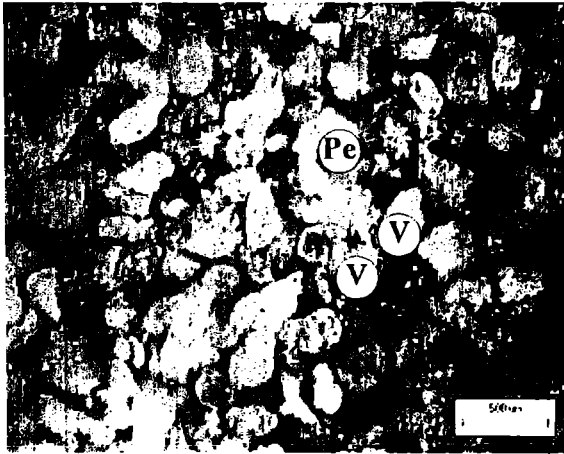
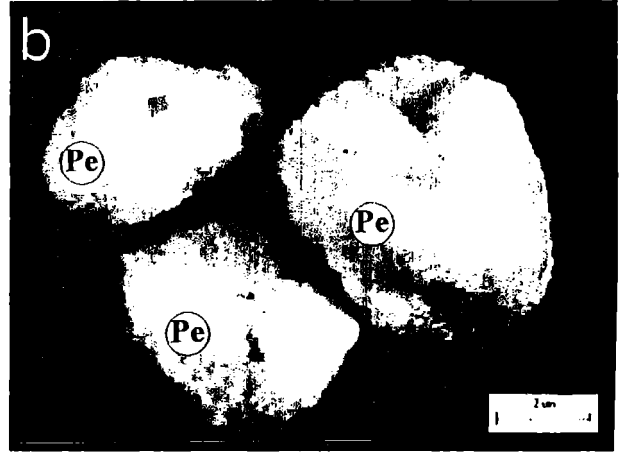
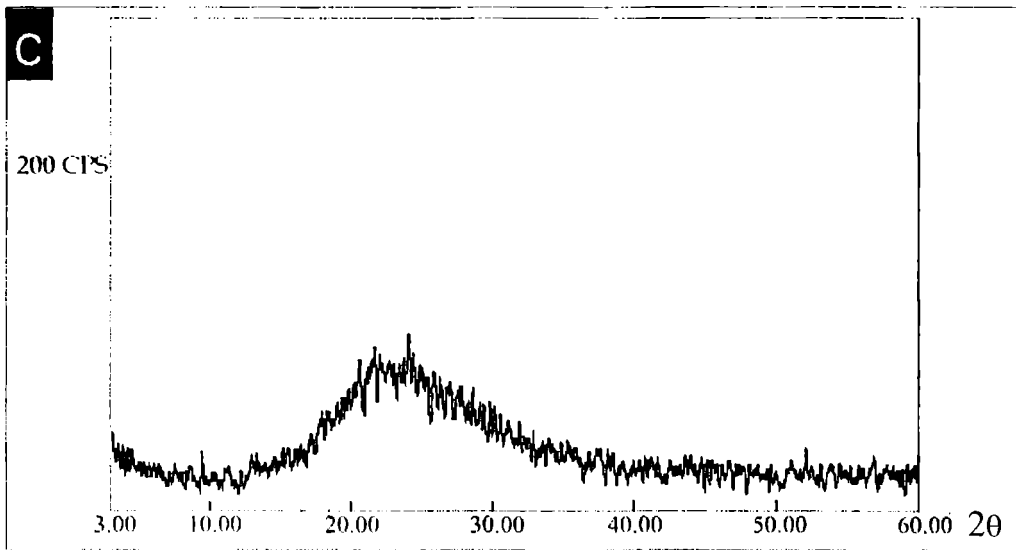


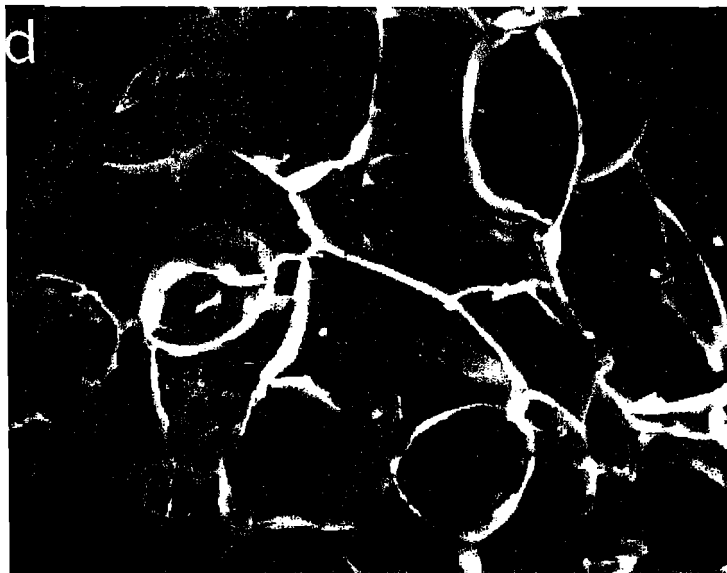
Imagen 50-100
= Perlita
Vidrio natural sin expansión



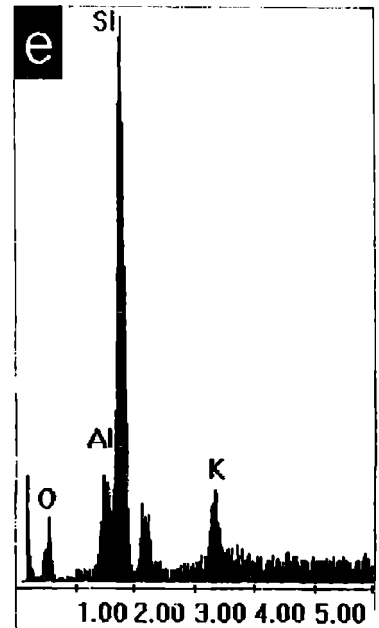
Características morfológicas de la



Difractograma de rayos X de perlita expandida natural.
Se observa que se trata de material amorfo

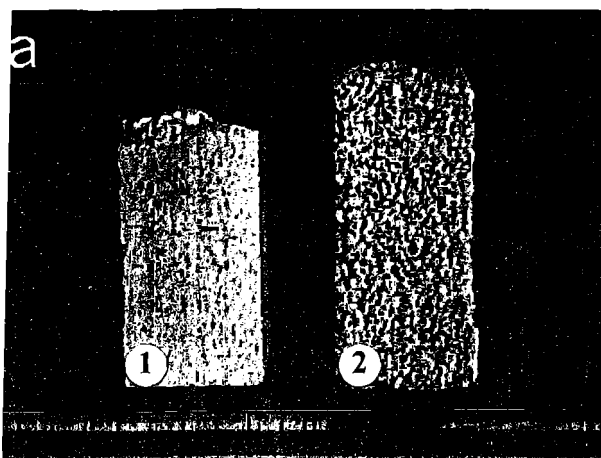


Microscopía electrónica de barrido de la
perlita.



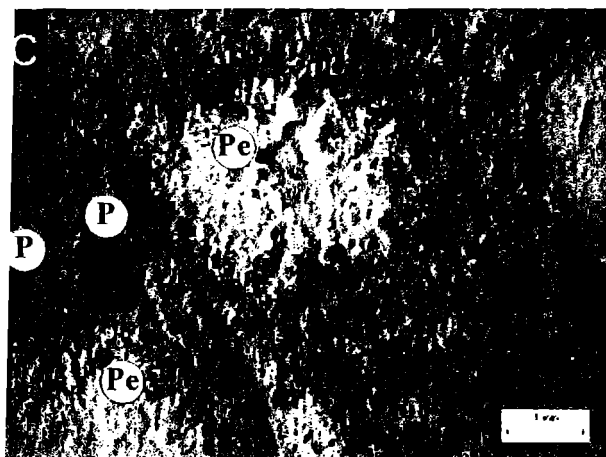
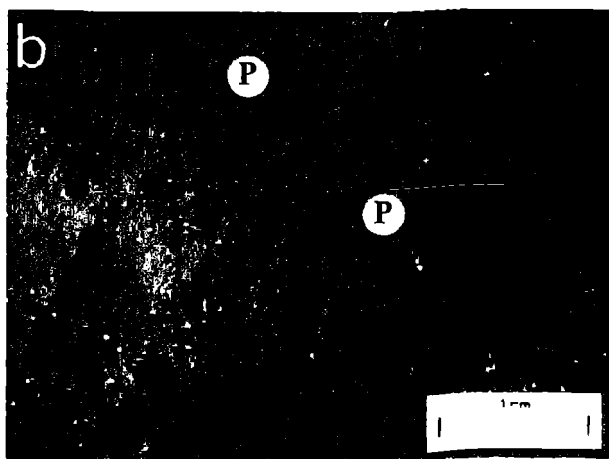
EDAX de la imagen
observada en 10

Figura 2 : Comportamiento de la perlita en el



1-. Probeta elaborada con 1% de aire incorporado

Hormigón elaborado con perlita expandida (P= Poros)



Detalle de la perlita (Pe) en el mortero (P=Poros)

Fractograma de rayos X del hormigón en perlita
 = Portlandita
 = Calcita
 = Silicato de calcio

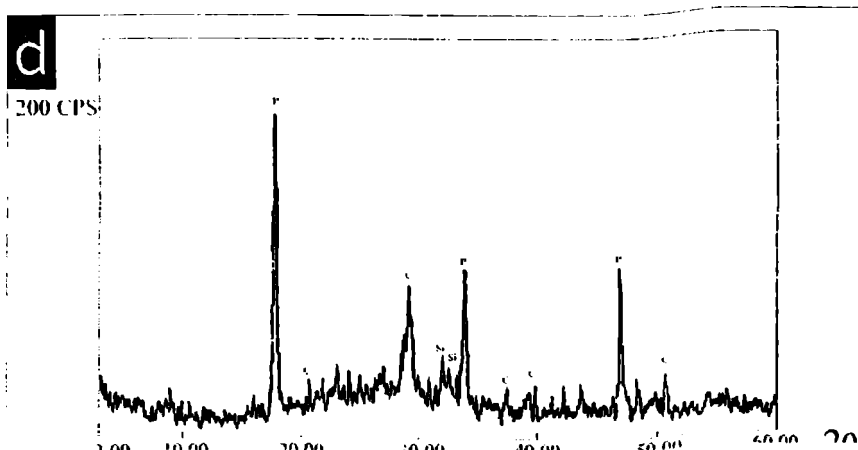
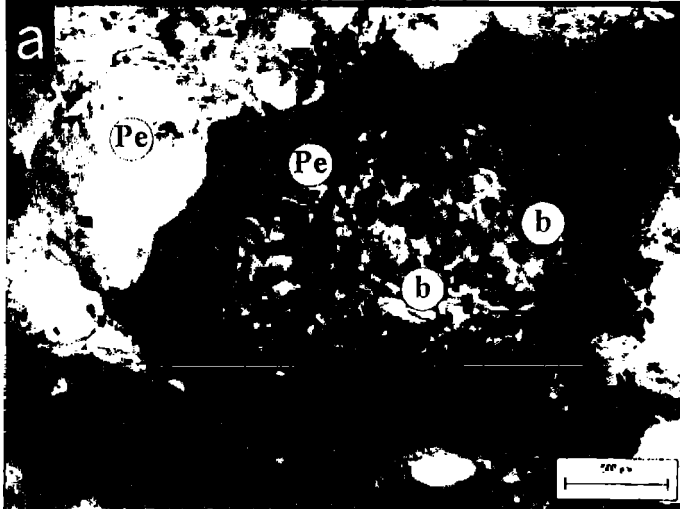


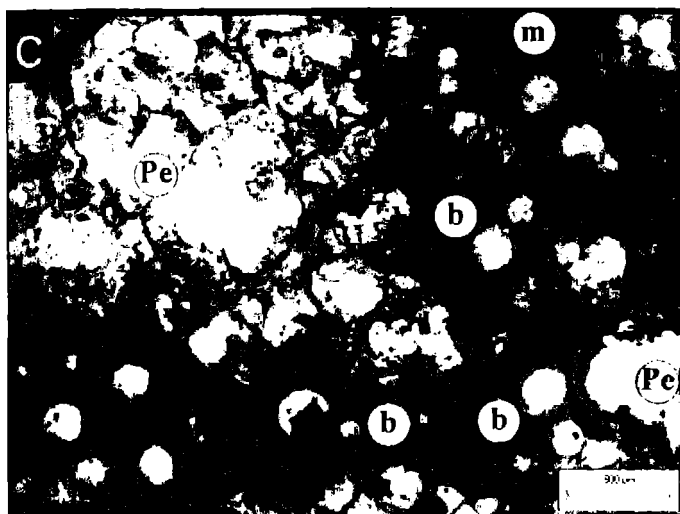
Figura 3 : Petrografía del hormigón elaborado con



Perlita (Pe) con importante cantidad de burbujas (b) de aire contenidas dentro de un



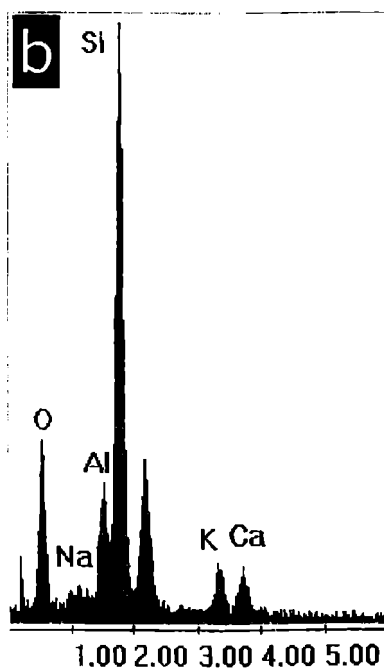
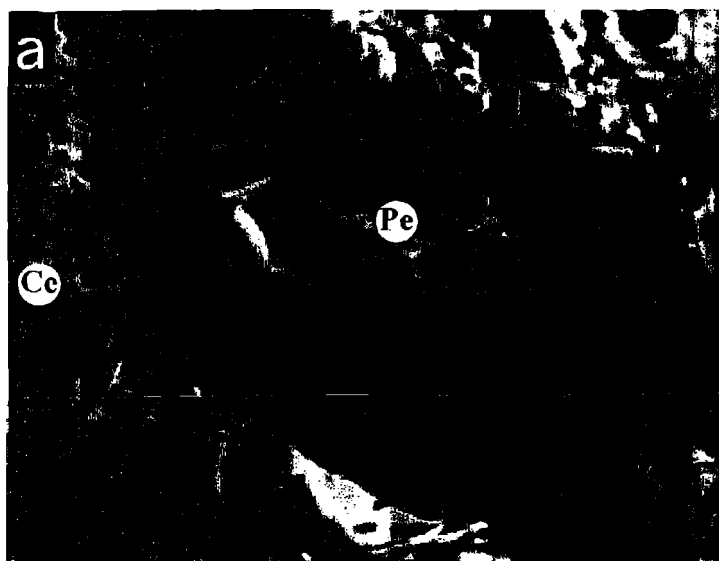
Distintas texturas y morfología de la perlita (Pe) en el mortero



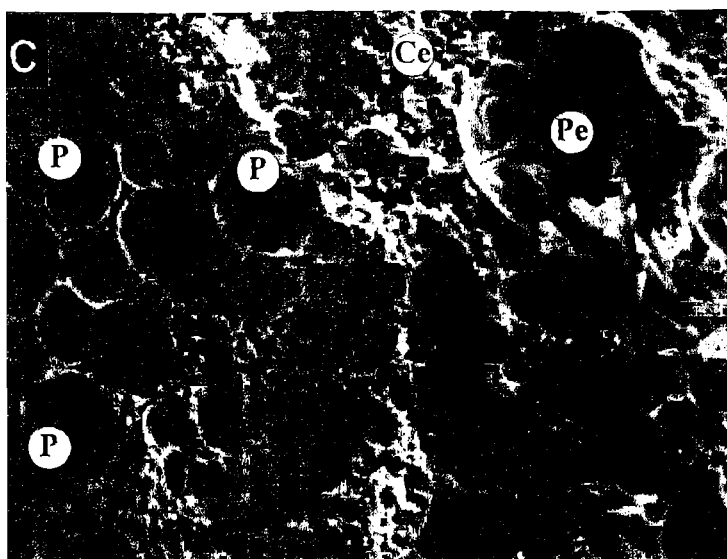
Contacto neto de perlita(Pe)-mortero(m). Abundante desarrollo de burbujas de aire

Figura 4 : Microscopía electrónica de barrido EDAX del hormigón con perlita

Características morfológicas de la perlita (Pe) y su relación con el cemento (Ce)



Análisis con EDAX del material observado en la figura 4a



Relación de la perlita (Pe) con el cemento (Ce) donde puede observarse la elevada