

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y MECÁNICOS DEL HORMIGÓN FRESCO Y ENDURECIDO, CON LA UTILIZACIÓN DE ÁRIDO FINO DE TRITURACIÓN

Daly Lilia Silvero Santacruz; Ida Eliana Prieto Corvalán; Prof. Ing. Paulo Yugovich
Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción"
Tte. Cataluppi y G. Molinas, Asunción, Paraguay
Teléfono: 595 21 334650
e-mail: daly.silvero@eisa.com
e-mail: ida@telesurf.com.py
e-mail: yugovich@pla.net.py

RESUMEN

En el Paraguay, las características de los áridos no se adecuan a los métodos de dosificación comúnmente utilizados para elaborar hormigones. Esto se debe a que, por un lado, la arena lavada proveniente de los ríos tiene granulometría muy fina y, por otro, la forma de los áridos gruesos también es inadecuada. Por estas razones la utilización de la cantidad de cemento para lograr la resistencia necesaria de los hormigones es mayor, lo que interviene tanto en el costo del hormigón, como también en algunas de sus propiedades físicas y mecánicas.

A través de esta investigación se encontró una combinación de áridos finos (arena lavada y árido fino de trituración), que permitió obtener hormigones con mejores resultados en comparación con el hormigón testigo (sin árido fino de trituración), en lo concerniente a la resistencia a la compresión simple, absorción y profundidad de penetración de agua bajo presión. Esto se logró con poca variación de costo, teniendo en cuenta que con la utilización de árido fino de trituración la resistencia aumenta en un 25% y los costos sólo se incrementan en un 6%.

Palabras Claves: Hormigón, granulometría, árido fino de trituración, resistencia a la compresión.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En el Paraguay, las características de los áridos no se adecuan a los métodos de dosificación comúnmente utilizados para elaborar hormigones debido a que por un lado, la arena lavada proveniente de los diferentes ríos tiene granulometría muy fina y, por otro, la forma de los áridos gruesos también es inadecuada, motivos por los cuales la utilización de la cantidad de cemento para lograr la resistencia necesaria de los hormigones es mayor, lo que interviene tanto en el costo del hormigón, como también en algunas de sus propiedades físicas y mecánicas.

Esta irregularidad incide en el porcentaje de vacíos de las mezclas que se desea obtener, por lo que se pretende encontrar una nueva forma de combinar los áridos, específicamente utilizando la mezcla de la arena lavada del río con el árido fino de trituración proveniente de las canteras, para la elaboración del hormigón, de tal manera a lograr un ahorro del consumo del cemento, un mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas así como mayor durabilidad en el tiempo.

Es importante destacar que para los áridos con granulometría y forma inadecuadas no corresponde aplicar los métodos de la composición óptima de los áridos; es decir, las curvas granulométricas ideales, ya que los resultados no serían satisfactorios.

1.2 Planteamiento del tema

Resultados obtenidos a partir de investigaciones y aplicaciones en nuestro país y en otros demuestran la influencia adversa de los agregados con forma y tamaño inadecuados. Esta influencia se manifiesta en el alto porcentaje de vacíos del hormigón y sus consecuencias en la reducción de la resistencia a la compresión, en el aumento del consumo de cemento y en la baja durabilidad del mismo.

Con este estudio se busca determinar la relación arena lavada – árido fino de trituración óptima, incluyendo sus efectos sobre la consistencia de la mezcla de hormigón, de tal manera que se establezcan los beneficios posibles para la elaboración de hormigones de resistencias normales, mediante el método investigado para dosificar mezclas de hormigón, desarrollado por el Prof. Vitervo O'Reilly Díaz. [1]

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar los parámetros físicos y mecánicos del hormigón fresco y endurecido, optimizando la granulometría de la arena lavada con la utilización de árido fino de trituración.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Encontrar una combinación de áridos finos que permita obtener mejores propiedades del hormigón fresco y endurecido con igual consumo de cemento.
- b. Comparar los resultados obtenidos utilizando al árido fino de trituración, tal como viene de la cantera y previa limpieza, es decir separando el polvo de los granos.
- c. Evaluar económicamente los resultados obtenidos.

2. DELIMITACIÓN DEL TEMA

2.1 Alcance y límites

En este trabajo de investigación, en el que se pretende obtener hormigones de resistencias normales utilizando árido fino de trituración para contrarrestar el bajo módulo de finura de la arena lavada, manteniendo constante el consumo de cemento, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Los elementos que se mantuvieron constantes fueron: el consumo de cemento, la relación agua/cemento, la relación aglomerante/áridos.
- b. Las variables independientes fueron: la relación arena lavada/árido fino de trituración.
- c. Las variables dependientes fueron: la resistencia a compresión simple del Hormigón, el asentamiento en el cono de Abrams, la permeabilidad y la absorción.

Para conocer las propiedades físicas y mecánicas del Hormigón endurecido, la absorción y la permeabilidad del mismo, se ensayaron 126 probetas a los 7, 14 y 28 días.

Con la combinación más favorable se ejecutaron muestras utilizando árido fino de trituración con previa limpieza, lavándolo con agua sobre el tamiz N° 100.

En esta investigación no se incluyen: ensayos de resistencia a la tracción,

ensayos a la flexo-tracción ni ensayos referentes a análisis químico del agua. No se utilizaron aditivos.

Los materiales utilizados fueron:

-Cemento Compuesto CPII-F32 de la Industria Nacional del Cemento.

-Arena lavada del Río Paraguay de la zona de Itá Enramada., a pesar de que la misma posee un módulo de finura por debajo del rango ideal, debido a su continua producción, bajo costo, fácil obtención y su naturaleza silíceo, que la hacen apta para la dosificación de hormigones.

-Árido fino de trituración de la Cantera de Ñemby, conocida como Piedra Triturada 6^{ta} (5 mm de diámetro máximo), para contrarrestar el bajo módulo de finura de la arena lavada del río Paraguay.

-Piedra basáltica triturada 4^{ta} de la Cantera de Ñemby.

-Agua de pozo profundo, que provino del pozo artesiano del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción".

2.2 Hipótesis

- a. Es posible aumentar la resistencia del hormigón a la compresión, manteniendo constante la cantidad de cemento, mejorando la granulometría del árido fino, con la utilización de árido fino de trituración.
- b. De la misma forma y con el mismo criterio, se consigue: disminuir la absorción del hormigón y su permeabilidad.
- c. En la misma línea del punto "a", sería posible bajar los costos manteniendo la misma resistencia a la compresión del hormigón, por vía de la reducción del contenido de cemento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

La baja resistencia mecánica de los hormigones obtenida en el país, con consumos de cemento del orden de 350 kg/m³, en comparación con otros países donde con el mismo consumo obtienen resistencias mayores, induce a investigar las razones de esta deficiencia.

Ensayos realizados en los laboratorios de la Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción" [2] y [3] señalan como uno de

los factores de la baja resistencia, el módulo de finura de la arena del Río Paraguay utilizada normalmente. Este módulo se encuentra por debajo del rango usualmente adoptado por los distintos métodos de dosificación y eleva la relación agua/cemento del hormigón. Además, posee una granulometría uniforme, desfavorable para la obtención de las curvas granulométricas ideales.

Existen ensayos realizados en el Instituto Nacional de Tecnología y Normalización (INTN) y en concreteras privadas sobre la utilización de árido fino de trituración en combinación con arena lavada para mejorar las propiedades del hormigón, pero éstos se han elaborado de manera empírica, sobre todo sin normativa de referencia y sus resultados no se han publicado.

Otro factor es la forma laminar de la piedra basáltica la cual aumenta el porcentaje de vacíos del hormigón y tiene consecuencias directas en la resistencia a la compresión y el consumo de cemento. El tema de la forma inapropiada ha sido motivo de estudios, entre otros, por O'Reilly[1].

Al utilizar agregados gruesos con una cantidad excesiva de partículas laminares (tipo placa o aguja), no es recomendable emplear los métodos clásicos granulométricos para la determinación de la proporción óptima entre piedra y arena, porque ofrecen, en la mayoría de los casos, resultados totalmente diferentes a los experimentales [2], [4], [5], [6], [7] y [8].

3.2 El método de dosificación de mezclas de hormigón

Este método surge luego de estudiar con detenimiento ciertos aspectos que no eran considerados por los investigadores contemporáneos, entre los que se encuentran la influencia de las características de forma de los áridos gruesos en la resistencia del hormigón, la proporción de los áridos del hormigón (arena y grava) aplicando el método experimental de la mezcla óptima y la determinación de la cantidad exacta de agua necesaria para obtener una consistencia requerida (mediante una comprobación práctica con la mezcla óptima de dosificación).

3.3 Justificación de la investigación

La dosificación es de suma importancia para conseguir hormigones con propiedades adecuadas. La resistencia mecánica, la durabilidad y el consumo de

cemento relacionado al costo son parámetros tenidos en cuenta por los ingenieros.

Por ello, este estudio busca investigar la posibilidad de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón, manteniendo constante la cantidad de cemento y comprobar si utilizando árido fino de trituración es posible acrecentar la resistencia a la compresión, aumentar la compacidad, disminuir la absorción y la permeabilidad, utilizando los materiales que existen en abundancia en la zona y respondiendo a las exigencias de las estructuras.

4. METODOLOGÍA

4.1 Procedimiento de trabajo

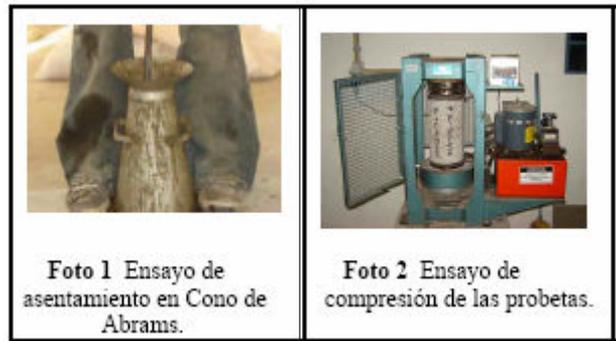
Todos los ensayos realizados durante el estudio se hicieron de acuerdo a las Normas [9] y [10]. Se utilizaron los ábacos de dosificación basados en el método del Ing. Vitervo O'Reilly obtenidos en trabajos de investigación. De esta manera se buscó hallar los trazos necesarios para obtener resistencias características de 21 MPa. A esta dosificación le llamamos hormigón testigo y no contiene árido fino de trituración.

Posteriormente se realizó una amasada para este trazo, la cual sirvió como hormigón testigo, de tal manera a tener un punto de comparación. Tomando los resultados del hormigón testigo como base para esta investigación, se realizaron cuatro distintas combinaciones, con diferentes proporciones de arena lavada y árido fino de trituración.

Se determinaron las distintas proporciones de áridos finos, de forma a obtener las resistencias correspondientes a las distintas proporciones y medir los asentamientos. Las dosificaciones se resumen en la Tabla 1.

El hormigón fue sometido a ensayos de asentamiento del cono de Abrams en su estado fresco, y a ensayos de resistencia a la compresión simple, profundidad de penetración de agua bajo presión y porcentaje de absorción en su estado endurecido.

Una vez ensayadas las probetas a la compresión simple, se eligió la combinación más favorable 40:60 (arena lavada:árido fino de trituración lavado), de la cual se ejecutaron muestras utilizando árido fino de trituración con previa limpieza lavándolo con agua sobre el tamiz N° 100.



DOSIFICACION 1 m3	Cemento CPII-F32 (Kg)	Arena Lavada (Kg)	Piedra 6ta (Kg)	Piedra 4ta (Kg)	Agua (Litros)
Hormigón Testigo (Sin árido fino de trituración)	335,8	751,4	0,0	1175,2	190,0
Dosificación: 30:70 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Natural)	335,8	225,4	526,0	1175,2	190,0
Dosificación: 40:60 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Natural)	335,8	300,5	450,8	1175,2	190,0
Dosificación: 50:50 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Natural)	335,8	375,7	375,7	1175,2	190,0
Dosificación: 60:40 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Natural)	335,8	450,8	300,5	1175,2	190,0
Dosificación: 40:60 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Lavado)	335,8	300,5	450,8	1175,2	190,0

Tabla 1 Dosificaciones utilizadas

5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados obtenidos en los diferentes ensayos para las distintas dosificaciones

DOSIFICACIÓN	Consumo de Cemento (Kg/m ³)	Relación agua/cemento	*Asentamiento (mm)	*Resistencia Característica 28 días (MPa)	*Absorción (%)	*Profundidad Máxima de Penetración de Agua Bajo Presión (mm)
Hormigón Testigo (Sin árido fino de trituración)	335,8	0,57	70,0	22,2	5,4	73,0
Dosificación: 30:70 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Natural)	335,8	0,57	70,0	27,6	-	-
Dosificación: 40:60 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Natural)	335,8	0,57	65,0	27,7	4,8	72,0
Dosificación: 50:50 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Natural)	335,8	0,57	60,0	25,8	-	-
Dosificación: 60:40 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Natural)	335,8	0,57	50,0	24,3	-	-
Dosificación: 40:60 (Arena Lavada - Árido Fino de Trit. Lavado)	335,8	0,57	100,0	29,4	5,2	70,0

Tabla 2 Consumo de cemento, asentamiento, resistencia característica a la compresión, absorción y profundidad máxima de penetración de agua bajo presión.

5.2 Resistencias características a la compresión alcanzadas por las distintas dosificaciones

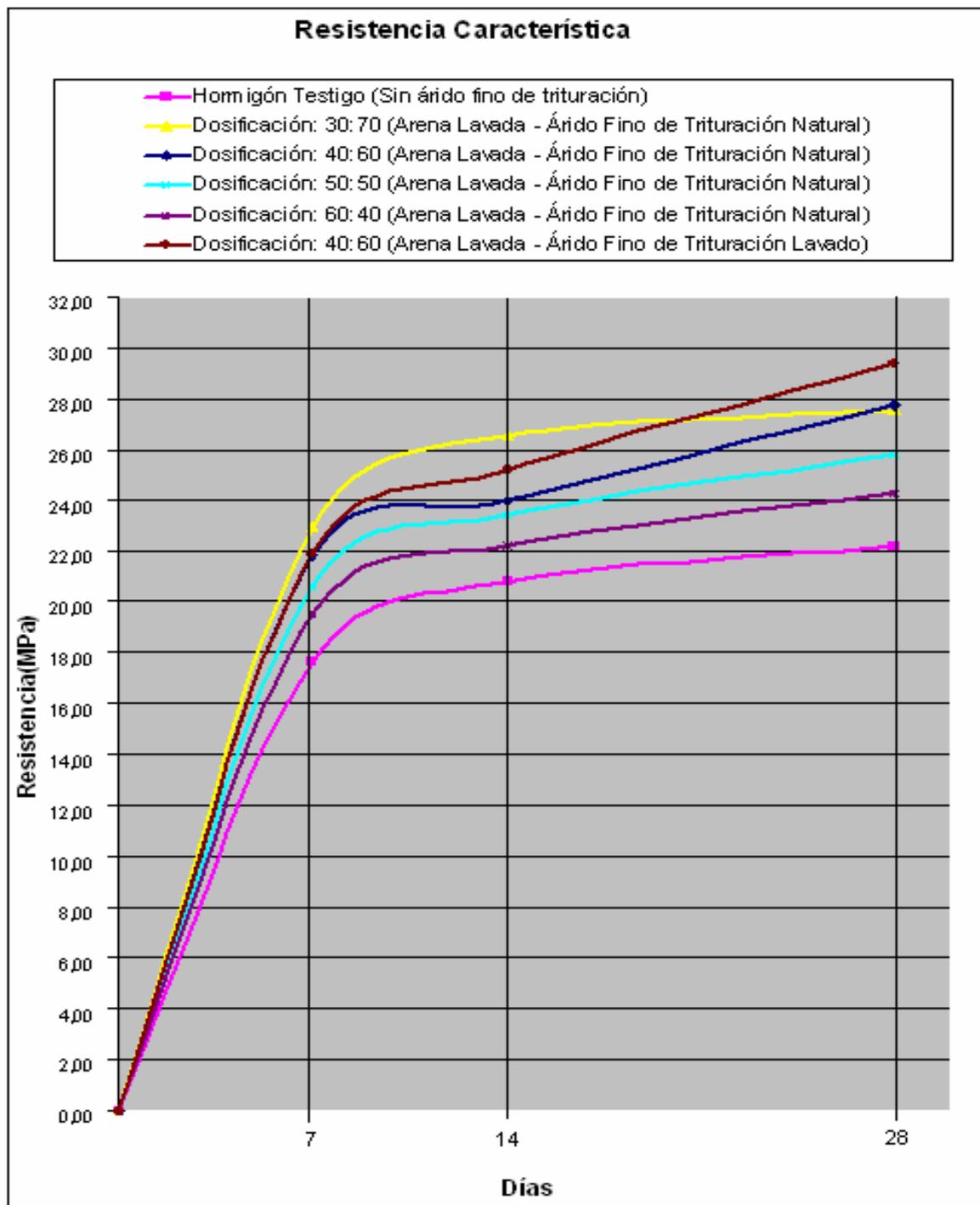


Gráfico 1 Resistencia a la compresión de las distintas dosificaciones a los 7, 14 y 28 días.

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1 Análisis de las resistencias características a la compresión alcanzadas por las dosificaciones

Observando el gráfico 1 se puede inferir que los hormigones elaborados con árido fino de trituración presentan mayores resistencias a los 7, 14 y 28 días que los hormigones que fueron fabricados sin árido fino de trituración. Sin embargo, la mezcla de áridos finos en proporción 40:60 (Arena Lavada:Árido fino de trituración) fue la que presentó mejor comportamiento aumentando en un 25 % la resistencia a la compresión simple con respecto al hormigón testigo (sin árido fino de trituración).

De la combinación óptima, se realizaron los ensayos de compresión simple con la piedra lavada en el tamiz N° 100. La resistencia a la compresión simple aumentó en un 6% con respecto al hormigón con árido fino de trituración tal como viene de la cantera.

6.2 Análisis del porcentaje de absorción de la dosificación óptima con árido fino de trituración tal como viene de la cantera (natural) y previa limpieza (lavado) – comparación con el porcentaje de absorción de la mezcla testigo

Analizando la tabla 2 se puede apreciar que en todos los casos ensayados, el índice de absorción de agua no es superior a 6%. Por lo tanto, todas las dosificaciones experimentadas cumplen con la Norma. Comparando los hormigones elaborados con árido fino de trituración, se observa que existe un menor porcentaje de absorción que el hormigón testigo elaborado sin árido fino de trituración.

Con respecto a la diferencia de porcentaje de absorción, los hormigones 40:60 (Arena Lavada:Árido Fino de Trituración Natural) tienen un porcentaje de absorción menor en un:

- a. 12% que los Hormigones Testigos (sin Árido Fino de Trituración).
- b. 7% que los hormigones 40:60 (Arena Lavada:Árido Fino de Trituración Lavado).

6.3 Análisis de la profundidad de penetración de agua bajo presión de la dosificación óptima con árido fino de trituración tal como viene de la cantera (natural) y previa limpieza (lavado) – comparación con la profundidad de penetración de agua bajo presión de la mezcla testigo

En la tabla 2 se puede apreciar que las distintas dosificaciones sólo producen pequeñas variaciones en la profundidad de penetración de agua bajo presión.

Comparando los hormigones elaborados con árido fino de trituración, se registra una menor profundidad de penetración de agua bajo presión que el hormigón testigo elaborado sin árido fino de trituración.

Con respecto a la diferencia de la profundidad de penetración, los hormigones 40:60 (Arena Lavada:Árido Fino de Trituración Lavado) tienen un porcentaje de penetración menor en un:

- a. 4% que los Hormigones Testigos (sin Árido Fino de Trituración).
- b. 3% que los hormigones 40:60 (Arena Lavada:Árido Fino de Trituración Natural).

6.4 Análisis de los costos de la dosificación óptima con árido fino de trituración tal como viene de la cantera (natural) y previa limpieza (lavado) – comparación con el costo de la mezcla testigo

Tomando como base los precios del mercado asunceno, se calculó el costo de cada dosificación. Los precios incluyen el IVA y se expresan en guaraníes por metro cúbico.

Los hormigones con árido fino de trituración resultaron en todos los casos estudiados más costosos que los hormigones sin árido fino de trituración (hormigones testigos).

En el caso de la dosificación óptima, con árido fino de trituración natural, 40:60 (Arena Lavada:Árido Fino de Trituración Natural), los costos aumentaron sólo en un 6% con respecto al hormigón testigo (sin árido fino de trituración).

En cambio, con árido fino de trituración lavado se obtienen con costos superiores de 17%, en comparación con la utilización de árido fino de trituración natural.

7. CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones finales

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”, y teniendo en cuenta las hipótesis planteadas en el ítem 2, se llega a las siguientes conclusiones:

- a. Mediante los ensayos realizados se pudo comprobar que es posible aumentar la resistencia del hormigón a la compresión, manteniendo constante la cantidad de cemento, mejorando la granulometría del árido fino, con la utilización de árido fino de trituración.
- b. De la misma forma y con el mismo criterio, se logró:
 - Disminuir la absorción del hormigón.
 - Reducir su permeabilidad.
- c. En la trabajabilidad del hormigón no se produjeron cambios notables (asentamiento en el cono de Abrams).
- d. La utilización de árido fino de trituración permite lograr mejores resultados en lo concerniente a compresión simple, absorción y profundidad de penetración de agua bajo presión en comparación con el hormigón testigo (sin árido fino de trituración) con poca variación de costo, teniendo en cuenta que con la utilización de árido fino de trituración aumenta la resistencia en un 25% y los costos sólo se incrementan en un 6%.
- e. En cambio, con árido fino de trituración lavado se consigue un aumento de la resistencia a la compresión de sólo 6%, en comparación con el árido fino de trituración tal como viene de la cantera, pero con costos superiores al 17%, lo que parece no justificar el costo adicional.
- f. Todo lo consignado en los párrafos precedentes permite concluir que los estudios y pruebas laboratoriales han demostrado a cabalidad que las hipótesis formuladas, se hallan completamente confirmadas, conllevando un valioso aporte en lo

referente a la resistencia del hormigón a la compresión simple, manteniendo constante la cantidad de cemento, mejorando la granulometría del árido fino con la utilización de árido fino de trituración. Así mismo, fue posible disminuir la absorción y la permeabilidad, sin producirse notables cambios en la trabajabilidad del mismo. Este mejoramiento de los parámetros físicos y mecánicos del hormigón fresco y endurecido, con la utilización de árido fino de trituración incidió en el costo en un porcentaje reducido en relación con el aumento de la resistencia a compresión simple. Por consiguiente se justifica plenamente la utilización árido fino de trituración.

7.2 Recomendaciones para investigaciones futuras

- a. Realizar investigaciones con la utilización de árido fino de trituración, manteniendo constante la resistencia a la compresión del hormigón y buscando la disminución de costos, disminuyendo el contenido de cemento.
- b. Incorporar aditivos plastificantes en el estudio citado en el punto “a” para compensar eventuales pérdidas de docilidad por la disminución de cemento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O'REILLY DÍAZ VITERVO A., Métodos Para Dosificar Mezclas de Hormigón, Artes Gráficos Sagitario. La Paz, Bolivia, 1997.
- [2] BURRÓ FELIPE, DUMOT NORMAN, Evaluación del Método de Dosificación de Hormigones de Elevadas Prestaciones en Base a la Forma de los Agregados. Tesis de Grado, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Paraguay 2002.
- [3] ACEVEDO ALBERTO, AHRENS EDGAR, Dosificación de Hormigones de Elevada Resistencia. Tesis de Grado, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Paraguay 2003.
- [4] LIMA EDUARDO, MORENO CHRISTIAN, Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Hormigón con Agregado de Fibras Plásticas. Tesis de Grado, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Paraguay 2003.
- [5] COLLEVILLE RAUL, Estudio de las Propiedades del Hormigón con Incorporación de Diferentes Aditivos. Tesis de Grado, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Paraguay 2001.
- [6] DREUX GEORGES, Guía Práctica del Hormigón, Editores Técnicos Asociados. Barcelona, España 1981.
- [7] INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN, Manual del Hormigón, 3ª Edición. Santiago, Chile 1988.
- [8] JIMÉNEZ MONTOYA P., GARCÍA MESEGUER A., MORÁN CABRÉ F., Hormigón Armado, 13ª Edición, Editorial Gustavo Gill S.A. Barcelona, España 2000.
- [9] RECOPIACIÓN DE LAS NORMAS UNE, Ensayos de Hormigones y Morteros, Tomo 10, Editorial AENOR. Madrid, España 1998.
- [10] INTN, Norma Paraguaya NP N° 150, Postes de Hormigón Armado. Asunción, Paraguay 1977.