

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Civil



**Hormigones Elaborados con Arenas Finas a Bajo Costo y  
Resistencia Satisfactoria para Estructuras en el Chaco Paraguayo**

**Andreas Neufeld Toews**

San Lorenzo – Paraguay  
2011

## **Andreas Neufeld Toews**

Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil, [andreasn@tigo.com.py](mailto:andreasn@tigo.com.py)

### **RESUMEN**

Si bien se puede elaborar perfectamente Hormigón de todo tipo en el Chaco Central y en todo el Chaco Paraguayo, el costo del flete de los materiales es un factor fundamental, que hace que el costo del Hormigón en el Chaco sea mucho mayor que en el resto del País.

Por tanto, al reemplazar por lo menos uno de los agregados del Hormigón, la arena de río, por arena extraída de las dunas que se encuentran en el Chaco Central, puede ser una alternativa para reducir en forma significativa el costo del Hormigón.

Reemplazar la utilización de la arena, puede significar un crecimiento en el desarrollo de la zona aun mayor del que se tiene ya hoy día. La aplicación de otros métodos de dosificación permite utilizar materiales que en su granulometría no cumplen con los requisitos tradicionales para la mezcla del Hormigón. Con mayor conocimiento de la arena de origen eólico existente en las dunas del Chaco Central y también de las características del Hormigón, se puede obtener beneficios en costos de flete y en tiempo de provisión.

### **ABSTRACT**

Although it is possible to prepare all types of concrete in the Central Chaco and in the whole Paraguayan Chaco, the freight costs of the materials is a fundamental factor that increases the costs of the concrete produced in the Chaco compared to the concrete produced in the rest of the country.

Therefore, after at least one of the aggregates of the concrete is replaced, in this case the river sand by sand extracted from the dunes in the Central Chaco, it can be an alternative to reduce the costs of the concrete significantly.

To replace the use of the sand can mean an even faster growth in the development of the area than there is today. The application of other methods of apportioning allows the use of materials that in their particle size analysis do not meet the traditional requirements for the mixing of concrete. With better insights about the sand of eolian origin, existing in the dunes of the Central Chaco and also about the characteristics of the concrete, it is possible to obtain benefits in freight costs and in provision time.

## RESUMEN DE CONTENIDO

El motivo de la investigación se basa en la necesidad de elaborar hormigones a partir de las canteras existentes en el Chaco paraguayo, pues el traslado de arena gruesa desde el río Paraguay supone el encarecimiento en los costos de elaboración del producto.

El objetivo principal del trabajo es demostrar la factibilidad de la elaboración de hormigones con arenas finas del Chaco y de resistencia satisfactoria que, en consecuencia, reduciría los costos operativos en la elaboración del producto.

El chaco central es una vasta planicie sin accidentes topográficos con suelos muy variados sin la presencia de ríos y lagos.

El clima es semiárido en el oeste y subhúmedo en el este, con veranos lluviosos e inviernos secos. La precipitación media anual disminuye paulatinamente de 1400 mm en el río Paraguay a 500 mm en el límite con Bolivia. La temperatura es elevada en verano, llegando a 48 grados centígrados y en invierno llega a bajar de cero grados centígrados (promedio anual = 25 grd. Centígrados.)

La población está combinada por inmigrantes y sus descendientes, indígenas y paraguayos migrados hacia la zona desde todos los puntos del país.

Las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería, siendo la producción de carne y leche la más importante de todas. Además con el importante crecimiento de la zona se suma cada vez con mayor importancia el comercio, la agroindustria y la construcción.

Un factor fundamental es la escasez del agua, que prácticamente se limita al agua de lluvia captada en aljibes para el consumo humano y en tajamares para la ganadería. Riego prácticamente no existe en la zona.

En busca de un método para la dosificación de hormigón con la arena disponible, se pudieron encontrar un sin fin de métodos para la dosificación del hormigón. Todos ellos con variaciones dependiendo del autor, del país y de las características de los materiales

disponibles para cada caso. El método adoptado es el del Ingeniero Cubano Vitervo O'Reilly.

El motivo de la inclinación hacia el método de O'Reilly es debido a varios factores. Uno de ellos es el hecho de que la arena de la zona no entra en el rango determinado por las normas y su método no aplica el modulo de fineza de la arena. Otro motivo es no se logra obtener la curva granulométrica ideal aplicada en las normas y en la mayoría de los métodos tradicionales de dosificación del hormigón. Además el autor desarrolla un método que se puede aplicar en cada caso particular y no desarrolla un método generalizado debido a que las características de los materiales existentes en los distintos países e inclusive en las distintas zonas de un mismo país son fundamentalmente distintas. El ingeniero O'Reilly desarrollo básicamente su propio método basado en estudios propios y de otros científicos en cuba y en otras partes del mundo.

Se realizaron los siguientes ensayos a la arena:

- Determinación de la humedad de la arena
- Determinación del peso específico aparente y absorción de la arena
- Determinación de la granulometría de la arena
- Determinación de cantidad de limo y arcilla por el método de campo
- Determinación de los límites de Atterberg (liquido y plástico)
- Ensayo equivalente de arena
- Determinación de impurezas (materia) orgánicas
- Determinación de la influencia de la materia orgánica en la resistencia del mortero
- Contenido de Sulfatos en la arena

### Al hormigón se realizaron los siguientes ensayos:

- Durabilidad por absorción
  - Se produjeron 6 probetas de 10 x 15 cm
- Resistencia a la compresión
  - Se produjeron 48 probetas de 15 x 30 cm

### Resultados Obtenidos

#### Ensayo de durabilidad por absorción

	Peso seco (gr)	Peso crítico (gr)	Dif. (gr)	Tiempo (min)	altura (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	Resistencia a la penetración de agua m (s/m <sup>2</sup> )	Coefficiente de absorción capilar k (Kg/m <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> )	Porosidad efectiva ξe (%)
<b>D1-B2</b>	469	499	30	360	25	8012	3,46E+07	0,0254	14,93
<b>D1-B3</b>	485	512	27	360	26	8012	3,20E+07	0,0228	12,91
<b>D1-B4</b>	513	540	27	360	26	8012	3,20E+07	0,0227	12,82
<b>D2-B1</b>	497	522	25	360	26	8012	3,20E+07	0,0214	12,10
<b>D2-B2</b>	520	543	23	360	28	8012	2,76E+07	0,0198	10,39
<b>D2-B3</b>	511	539	28	360	27	8012	2,96E+07	0,0239	13,04
<b>Promedio</b>	<b>499</b>	<b>526</b>	<b>27</b>	<b>360</b>	<b>26</b>	<b>8.012</b>	<b>3,13E+07</b>	<b>0,0227</b>	<b>12,70</b>

#### Resistencia a la compresión Promedia

	Resistencia (Kg / cm <sup>2</sup> )		%	Consumo Cemento
	7 Días	28 Días		(Kg)
<b>D1</b>	222	293	75.8	465
<b>D2</b>	188	265	70.9	396
<b>Diferencia</b>		<b>28</b>		<b>69</b>

## Ahorro por metro cubico del Hormigón

Para poder determinar el ahorro es importante determinar el costo del Hormigón por metro cubico. Para eso se utilizan las cantidades utilizadas para confeccionar un hormigón con arena del Rio Paraguay. Los costos utilizados para los materiales son del mercado y son los siguientes:

### Costo por metro cubico con arena de rio

Material	Consumo (Kg)	Costo (Gs/Kg)	Total (Gs)
Cemento	365	1.340	489.100
Arena de Rio	470	130	61.100
Triturada	1.415	185	261.775
			<b>811.975</b>

### Costo por metro cubico con arena del Chaco

Material	Consumo (Kg)	Costo (Gs/Kg)	Total (Gs)
Cemento	396	1.340	530.640
Arena del Ch.	673	25	16.825
Triturada	1.228	185	227.180
			<b>774.645</b>

Por lo tanto el ahorro es la diferencia entre los costos del Hormigón elaborado con las distintas arenas.

**Ahorro total por metro cubico de Hormigón = 37.330 Gs**

Eso equivale a un **4,6%** sobre el costo de los materiales para un metro cubico de hormigón elaborado con arena del Rio Paraguay considerando la resistencia y la correspondiente dosificación de referencia.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación que ha servido como tema de Tesis de Grado, ha significado un desafío a las normas y especificaciones técnicas, por cuanto las características físicas de las arenas procedentes del chaco paraguayo, no cumplen con los límites y rangos para la elaboración de hormigón propuesto por la A.S.T.M., es decir:

1. La curva granulométrica se encuentra completamente fuera de los límites recomendados por la A.S.T.M., clasificándose como arenas de grano fino con un módulo de finura de 0,868 cuando el rango se encuentra entre 2,2 a 3,2 (según A.S.T.M. C-33).
2. El % que pasa el tamiz # 200 es del 13 % mayor al especificado es decir entre 0 y 5 % (A.S.T.M. C - 117).
3. El contenido de materia orgánica que se encuentra en la arena, más específicamente en los limos, alcanza el valor de 5 en el rango de 1 a 5, cuando lo especificado son valores comprendidos entre 1 a 3 (A.S.T.M. C - 40).
4. Los efectos de las impurezas orgánicas en la resistencia a la compresión en cubos de mortero preparados con arena lavada y sin lavar, no deben bajar del 95%, sin embargo en los análisis las resistencias bajaron hasta el 80%, contraviniendo a lo especificado (ASTM C - 87).

Pese a todos los antecedentes que el caso amerita, se ha encontrado un método de dosaje que nos ha permitido alcanzar con la combinación de los agregados, el mayor grado de densificación que significa el menor porcentaje de vacíos y por ende un menor consumo de cemento.

Los excelentes resultados de las resistencias a la compresión de los cilindros (ASTM C- 39) preparados bajo diferentes familias de trazos, sobrepasaron las expectativas que de ellos se esperaban.

Los resultados clasificados como satisfactorios se deben principalmente:

- a) A la buena calidad de la grava chancada, cuyo valor al desgaste mediante la maquina Los Angeles (ASTM C - 131) es de 15%, el límite máximo permisible es de 50% según la A.S.T.M.
- b) A pesar que la arena es de grano muy fino, sin embargo su matríz mineralógico corresponde a cuarzos de dureza elevada.
- c) Si estas arenas pasan por un proceso de lavado, es posible mejorar su rendimiento.
- d) Debido a la conformación de las arenas de grano muy fino, con una superficie específica alta, la demanda de agua es mayor lo que provoca una disminución de la resistencia.

Por otro lado y, teniendo en cuenta los resultados del estudio complementario sugerido por las autoridades de la Universidad Nacional de Asunción, se puede concluir que efectivamente es factible elaborar hormigón con la arena fina extraída de los yacimientos de origen eólico del chaco central.

El peso específico del Hormigón fresco es bastante alto, lo cual demuestra que se cumple con el principio del método de obtener la mezcla de los agregados con una distribución granulométrica de tal forma a eliminar la mayor cantidad e vacios existentes entre los componentes de los mismos.

Este trabajo prueba que se puede tener un ahorro utilizando las arenas en cuestión sin perder de vista que hay que hacer más análisis del método y lograr una mayor variedad de dosificaciones para los distintos requerimientos en las obras de estructura.

También los resultados obtenidos en el análisis de durabilidad por absorción son satisfactorios (porosidad efectiva promedia = 12.7 %) y demuestran que se puede lograr un hormigón de moderada calidad (según la red DURAR la porosidad efectiva entre 10 y 15 % equivale a un hormigón de moderada calidad) que cumpla con los requerimientos para estructuras básicas de Hormigón Armado.

Del análisis de sulfatos se puede concluir que la arena está prácticamente libre de los mismos. Esto es razonable, ya que no son

yacimientos de sedimentación o de arrastre por aguas contaminadas, sino por el viento.

Los beneficios que conllevará el uso de estas arenas en la industria de la construcción, son inmensurables, más si se trata de zonas deprimidas por la distancia y aislamiento de los centros urbanos.

Es importante destacar que para el trabajo de grado en cuestión se utilizó la arena proveniente de dunas de arena acumulados por el efecto del viento. Por lo tanto si se desea implementar otras arenas, por ejemplo de profundidad es importante hacer los mismos y otros análisis antes de su empleo en hormigón.

### **De la Resistencia y el Costo**

Queda demostrada la Hipótesis que se puede lograr Hormigón con resistencia satisfactoria de un  $f_{cm}$  entre 263 y 293 Kg/cm<sup>2</sup>.

Considerando que un para hormigones de resistencias similares elaborados con arena del Rio Paraguay y arena del Chaco, se tiene un costo de 811.975 y 774.645 respectivamente, queda demostrado que se puede lograr un ahorro de hasta 37.330 Gs/m<sup>3</sup> de hormigón, lo que equivale al 4,6 % sobre el costo del Hormigón elaborado con arena de Rio.

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda el uso de las arenas en toda obra de Ingeniería Civil, procurando que la explotación de los yacimientos sean ubicados y controlados por organismos estatales de tal manera de no alterar el entorno ecológico de la zona.

La instalación de procesadoras y lavaderos de arena, resultará beneficioso siempre y cuando se utilice agua limpia libre de cloruros, sulfatos u otras sustancias nocivas.

## Recomendaciones para la aplicación practica

Utilizar las siguientes proporciones en volumen para lograr una dosificación D2

<b>Cemento</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>	
<b>Arena</b>	1,35		2,70		4,05		5,40		6,75	
<b>Piedra 4ta</b>	1,83	2,38	3,66	4,76	5,49	7,14	7,32	9,52	9,15	11,90
<b>Piedra 5ta</b>	0,55		1,10		1,65		2,20		2,75	
<b>Agua</b>	0,48		0,96		1,44		1,92		2,40	

Para dosificaciones en peso utilizar las siguientes proporciones:

<b>Material</b>	<b>D1</b>		<b>D2</b>	
	<b>Peso por m<sup>3</sup></b>	<b>Dosificación</b>	<b>Peso por m<sup>3</sup></b>	<b>Dosificación</b>
Cemento (Kg.)	465.59	<b>1</b>	396.17	<b>1</b>
Arena (Kg.)	619.35	<b>1.33</b>	673.67	<b>1.70</b>
Triturada 4ta.(Kg.)	969.74	<b>2.08</b>	958.16	<b>2.42</b>
Triturada 5ta. (Kg)	273.52	<b>0.59</b>	270.25	<b>0.68</b>
Agua (Lts)	201.06	<b>0.432</b>	226.75	<b>0.572</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2529</b>		<b>2525</b>	

Utilizar la arena con una dosificación igual a la D1 para obtener resistencia  $f_{cm} = 293 \text{ Kg/cm}^2$  y D2 para una resistencia  $f_{cm} = 265 \text{ Kg/cm}^2$

Si según la tabla 3.1 de Jiménez Montoya (pag. 53) la

$f_{cm} = 1,35 f_{c k} + 15 \text{ kg/cm}^2$  la  $f_{c k} = (f_{cm} - 15)/1,35$ , tenemos que la D1 se puede utilizar para un  $f_{c k} = 206 \text{ Kg/cm}^2$

D2 se puede utilizar para un  $f_{c k} = 185 \text{ Kg/cm}^2$

## **Recomendaciones para futuras investigaciones**

Para futuras investigaciones y para el uso a gran escala y en obras de envergadura se recomienda hacer estudios y ensayos con distintos dosajes. Inclusive podría usarse el dosaje D1 como el piloto y de allí partir con mayor y menor consumo de cemento para poder determinar con precisión e inclusive con base científica y como sustento normativo unas curvas de resistencia como por ejemplo la curva de Abrams. Esto se podría utilizar para determinar en forma practica el consumo de cemento, la relación agua cemento y la relación cemento/áridos para las distintas resistencias requeridas.

Además en cuanto a los análisis de la arena, material principal de estudio, se recomienda hacer los siguientes ensayos con estandarización y en cantidad considerable.

- Determinación de la humedad de la arena
- Determinación del peso específico aparente y absorción de la arena
- Determinación de la granulometría de la arena
- Determinación de cantidad de limo y arcilla por el método de campo
- Determinación de los límites de Atterberg (liquido y plástico)
- Ensayo equivalente de arena
- Determinación de impurezas (materia) orgánicas
- Determinación de la influencia de la materia orgánica en la resistencia del mortero