



CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS POR ZONAS GEOGRÁFICAS EXTENSIÓN DEL MÉTODO DEL MANUAL DE CONCRETO ESTRUCTURAL

Resumen

La propuesta de Norma COVENIN 1753 (R) *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural* amplía disposiciones relativas a materiales, métodos de dosificación y ejecución de mezclas de conereto; que exigen por parte del ingeniero responsable de la construcción el control de las características de los áridos utilizados, además de recordar la necesidad de realizar dosificaciones de mezclas conforme a las características locales de los agregados. En tal sentido, esta ponencia presenta parte de los avances obtenidos en un proyecto de investigación a largo plazo con alcance nacional auspiciado por el FONACIT y la Universidad Católica Andrés Bello, que se efectuó sobre una muestra conformada por 130 fuentes de suministro. El estudio tiene como finalidad determinar coeficientes locales para la dosificación de concreto con base a la caracterización de agregados por regiones geográficas. Como resultado destaca la necesidad que el profesional responsable controle periódicamente las características de las piedras y arenas utilizadas en la construcción y, establezca factores de corrección sobre los coeficientes de la Ley de Abrams y la Relación Triangular, cuando las mezclas se realicen con agregados distintos a los que abastecen a la ciudad de Caracas.

■ Guillermo Bonilla
gbproyectos@gmail.com

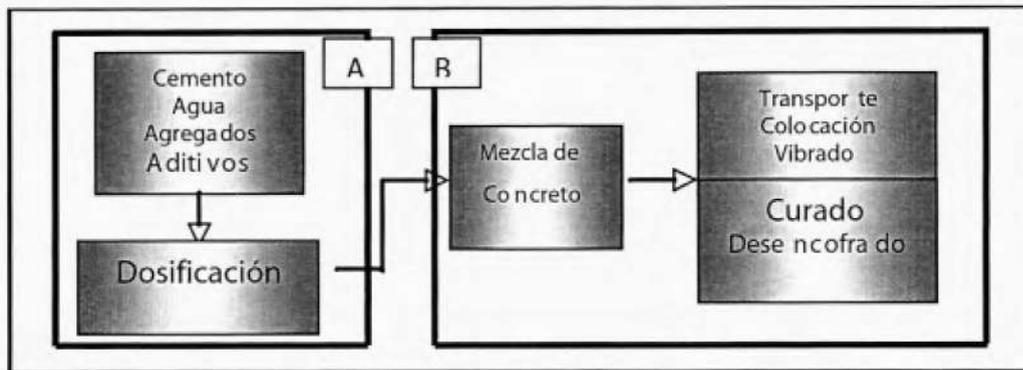


Figura N° 1.1 - Elementos involucrados en la calidad del concreto

1 Introducción

La calidad del concreto considerada desde el punto de vista de durabilidad y resistencia depende de un conjunto de variables que abarcan desde las propiedades de cada componente (cemento, agua, agregados y aditivos), hasta los efectos derivados de la ejecución de mezcla, manejo y la colocación correcta de la mezcla producida, lo que incluye el transporte, la colocación, vibrado, desencofrado y curado. Ahora bien, mientras estas actividades se relacionan con la buena producción del concreto, que deben ser coordinadas y controladas por los ingenieros responsables de la construcción, las características físicas de los agregados dependen aspectos ajenos a la ingeniería civil relativos al yacimiento, el origen geológico y la explotación del mismo.

Esto se explica mejor mediante la Figura N° 1.1 donde destacan los componentes y actividades que determinan la calidad del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido. En este sentido, el sector **A** considera los materiales requeridos para producir el concreto; donde sus propiedades se incorporan mediante los métodos de dosificación, con los que se establecen las proporciones de la mezcla. Por otra parte, en el sector **B** se encuentran incorporadas las tareas relativas al manejo adecuado del concreto en estado fresco, lo que comprende actividades relativas al procedimiento de ejecución de la mezcla, su transporte, colocación, vibrado, curado y el desencofrado.

Observe que usualmente se considera que todos los elementos incluidos dentro de la figura cuentan con el control rutinario que asegura la calidad del

concreto; sin embargo, la realidad indica que el mayor control que se aplica durante la ejecución de una obra se sustenta en los ensayos de resistencia de cilindros, dado que los estudios relativos a la calidad de los agregados suelen concentrarse al inicio de las actividades constructivas y su objetivo está asociado a conocer las características principales de los materiales para determinar la dosificación de la mezcla de concreto.

A partir de ese momento, es posible que no se vuelvan a realizar ensayos que alerten acerca de variaciones en las propiedades de los áridos, lo que afectará el comportamiento esperado de la mezcla obligando, durante el proceso de mezclado, a efectuar las correcciones de última hora mediante cambios en la dosis del agua; actividad que puede convertirse en problemas a corto y largo plazo para la edificación. Bajo este contexto, los agregados están sujetos a cambios en sus propiedades debido en parte al origen geológico que afecta los yacimientos de piedras y arenas, haciendo que no cuenten con la uniformidad deseada. A esto se agrega las deficiencias en el proceso de explotación de algunas fuentes de suministro que no están en capacidad de corregir las deficiencias de la producción.

Para dar énfasis en la importancia que el yacimiento y la explotación tienen sobre las cualidades del concreto la figura N° 1.2 resume la relación entre la fuente de suministro, considerando el aspecto geológico y la calidad del concreto ejecutado; donde el proceso productivo está conformado por sucesivas etapas de trituración, cribado (tamizado) y lavado que definirán las propiedades de los agregados, las que a su vez determinan las cualidades del concreto.

		PROPIEDADES								
		Dureza	Textura	Forma Partícula p. Específico	Absorción	Granulometría	T. Máximo	Impurezas	Mineralogía	Petrografía
FUENTE DE SUMINISTRO	Geología	x	x	x	x	x		x	x	x
	Trituración			x	x	x				
	Tamizado					x	x			
	Lavado							x		
CONCRETO	Diseño de Mezcla			o	o	o	o			CONCRETO
	Trabajabilidad		o	o	o	o				FRESCO
	Resistencia	o	o	o	o	o		o	o	ENDURECIDO
	Durabilidad	o			o			o	o	

Figura N°1.2 Influencia de fuentes de suministro en la calidad del concreto

Bajo este contexto, la geología cambian con el transcurso del tiempo, por lo que la forma de extracción y los métodos de producción deben controlar la variabilidad de las propiedades indicadas en el cuadro; por lo que es necesario destacar que el estado de los equipos utilizados en el procesamiento, al igual que la experiencia del personal responsable de las distintas actividades, tienen influencia directa en las características del agregado y en especial de su estabilidad a través del tiempo.

Entonces, cada uno de los elementos que conforman las etapas de producción deberá ser controlado con la finalidad de asegurar la calidad del producto final; en tal sentido, cuando el tipo de construcción lo amerita, el ingeniero responsable deberá tener el cuidado de verificar las condiciones físicas de los equipos de trituración y cribado, sistemas de traslados del material dentro del yacimiento y sitios de almacenamiento.

En el caso del mercado nacional de agregados finos, la forma de extracción varía según el tipo de fuente de material; cuando es arena de río el procedimiento de explotación puede ejecutarse por arrastre con el apoyo de retroexcavadoras y dragas; si las arenas se encuentran en minas secas la explotación se realiza mediante empuje mecánico, pero si las minas se encuentran sumergidas bajo el nivel freático, se aplican sistemas de succión o métodos de arrastre. Generalmente la explotación

del agregado fino resulta más económica que las del agregado grueso.

Para ofrecer una idea sobre la situación de las fuentes de suministro a nivel nacional, a continuación se presentan distintos aspectos relativos al proceso de producción que fueron evaluados a lo largo de la investigación; se observó en el caso de agregados gruesos que el sesenta y dos por ciento (62%) de las fuentes de suministros de agregados gruesos, corresponden a extracciones en canteras a cielo abierto de las cuales el cincuenta y cinco por ciento (55%) necesitan uso de explosivos para abastecerse de piedras y el siete por ciento restante (7%) lo hace mediante empuje mecánico. Además, el treinta y ocho por ciento (38%) restante tiene su origen en lechos de ríos.

Las fuentes de suministro de agregados gruesos que no requieren voladura se ubican en la zona oriental del País, específicamente en el Estado Sucre (Cumaná, Carúpano); por otra parte, las de origen fluvial se concentran hacia la zona occidental (San Felipe, Barquisimeto, Guama, Mérida, Trujillo); todas las canteras de la Zona central del País (Valencia, San Sebastián de los Reyes, Magdaleno) dependen de voladura para la extracción de su materia prima conformada por rocas calizas. El cuadro N° 1.1 muestra de forma resumida la distribución expuesta.

ORIGEN	ZONAS			TOTAL
	ORIENTE	CENTRO	OCCIDENTE	
Cantera con voladura	29%	18%	9%	55%
Cantera por arrastre	7%	0%	0%	7%
Fluvial	0%	0%	38%	38%

Cuadro N°1.1- Distribución de fuentes de agregados gruesos según tipo de extracción

Por otra parte, la distribución del origen y la forma de extracción de las arenas en las fuentes estudiadas se puede observar en el cuadro N° 1.2. El sesenta y uno por ciento (61%) de las arenas extraen el material de lechos de ríos; el treinta por ciento (30%) corresponde a una extracción efectuada en depósitos o minas. El dos por ciento (2%) es de origen lacustre y el siete por ciento (7%) proviene de trituración.

ORIGEN	ZONAS			TOTAL
	ORIENTE	CENTRO	OCCIDENTE	
Fluvial	18%	7%	36%	61%
Depósitos	18%	11%	0%	30%
Lacustre	0%	0%	2%	2%
Trituración	0%	2%	5%	7%

Cuadro N°1.2- Distribución de fuentes de agregados gruesos según tipo de extracción

2- Control de Calidad en las fuentes de suministro

2.1- Calidad de producción

Ha sido expuesto que el control de calidad durante las etapas de explotación y producción influye en la variación de las propiedades del agregado utilizado para la construcción; mediante un adecuado control se pueden establecer correctivos sobre la unidad de producción cuando las características no deseables aparezcan. Para que se entienda lo crítico de la situación sólo 14 fuentes visitadas (14%) de un total de 130 presentaron resultados aceptables en la evaluación relacionada con la calidad de producción.

Un caso típico de deficiencias en la producción de arenas lo constituye la presencia de partículas muy finas, existencia de materiales contaminante y las granulometrías; además, en el caso de las canteras, la presencia de polvo y granulometrías fuera de las especificaciones.

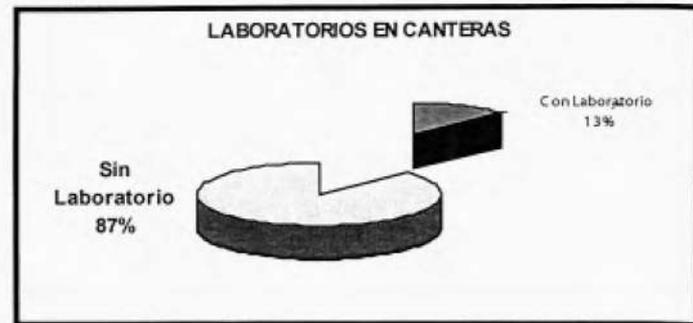
2.2- laboratorios de ensayo en las fuente de suministro

El control de la calidad de producción en primer lugar debería hacerse en el sitio de explotación mediante ensayos rutinarios, además los resultados deben cotejarse periódicamente con ensayos externos; Sin embargo, la realidad mostró que pocas canteras y areneras ejecutaban ensayos para evaluar la calidad de sus agregados. En este sentido, a continuación se indican los resultados evaluados al respecto.

2.2.1- Agregados gruesos

El ochenta y siete por ciento (87%) de las canteras visitadas carecen de de instalaciones de laboratorio; por otro lado el trece (13%), que corresponde

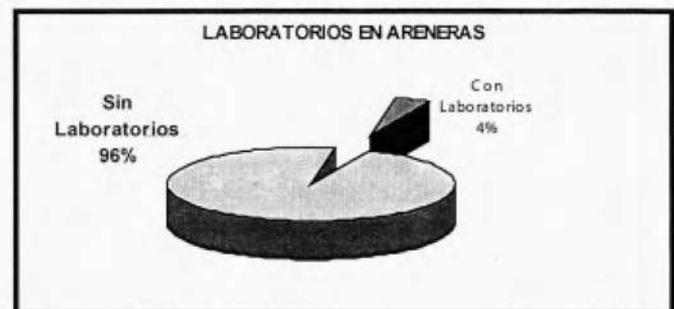
a plantas asfalteras que suministran piedras para concreto cuentan con laboratorios, aunque con la finalidad de controlar la calidad del agregado desde el punto de vista de la pavimentación asfáltica. Una sola cantera, ubicada en la ciudad de Tabay, Estado Mérida, demostró contar con ensayos rutinarios para sus agregados y de diseños de mezclas. El gráfico 2.1 expresa la situación



Gráfica N°2.1- Situación relativa a presencia de laboratorios en canteras.

2.2.2. Agregados finos

Noventa y seis por ciento (96%) de las fuentes de suministros de agregados finos carecen de laboratorios de control de calidad; de éstas una sola en Barquisimeto (2%) cuenta con ensayos externos. Véase gráfica N° 2.2



Gráfica N°2.2- Situación de ensayos a nivel de productores de Arena.

2.3- Arena lavada o sin lavar

La etapa de lavado requiere de equipos necesarios para eliminar las partículas muy finas de los agregados. Sin embargo, el término arena lavada puede ser muy relativo, debido a que las arenas de

rio se consideran de por sí lavadas; por otro lado, las arenas de mina las denominan así cuando se encuentran debajo del nivel freático. Aunque hay que aclarar que en Barquisimeto, Estado Lara; Vigirima, Estado Carabobo; Clarines, Estado Anzoátegui se observaron areneras con agregados de mina que utilizaban equipos para lavado; el problema está que no son la mayoría.

La gráfica siguiente N° 2.3 ofrece una idea relativa la existencia de lavado de las areneras visitadas, donde el treinta y seis (36%) por ciento que aparece como que no lavan, están referidos a fuentes de ríos; el treinta y dos por ciento (32%) que se indica por inmersión se tratan de arenas de minas y el treinta y dos por ciento (32%) restante que efectivamente lavan con equipos lo hacen en arenas de minas.



Gráfica N°2.3- Sistema de lavado en areneras visitadas

A nivel específico en la zona Oriente el seis por ciento (6%) de areneras cuenta con equipo de lavado, el noventa y cuatro por ciento (94%) no lava, el sesenta y tres por ciento (63%) del total considera que la arena sumergida ya se encuentra lavada. En la Zona Centro el 67% de las areneras cuentan con equipos para lavado. En Occidente 37% de los productores lava el agregado, 21% no lo hace debido a que la arena proviene de ríos o de minas bajo el nivel freático y el 42% restante no lavan el agregado.

3.- Caracterización por Zonas Geográficas

Se utilizaron las normas venezolanas COVENIN para caracterizar los agregados por zonas geográ-

ficas de las que presentaremos algunos resultados significantes. Al respecto, la Norma COVENIN 277 de Requisitos para los agregados incluye el ensayo "Determinación de partículas más finas que el pasante N° 200" controlando dichos valores a 3% en concretos sometidos a la abrasión y 5% para cualquier otro tipo de concreto.

El efecto directo sobre la mezcla en los casos que se presentan excesos de pasante del tamiz N° 200 se refleja en requerimientos excesivos de agua; por otra parte, en el concreto endurecido se reflejará en apariciones de grietas y bajas resistencias. La Figura N° 3.1 muestra los valores promedios de este ensayo por zonas de estudio, al igual que los valores mínimo y máximo determinados.

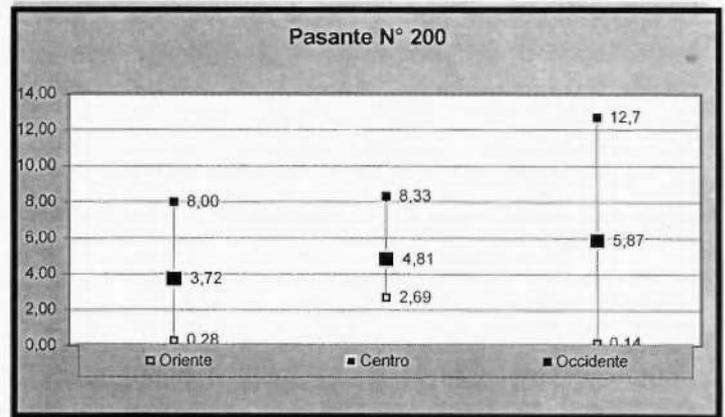


Figura N°3.1- Valores medios y extremos de pasante de tamiz N° 200

Observando la figura anterior destaca que en la Zona Oriente el valor promedio del porcentaje de pasante N° 200 corresponde a 3.7; con valores que van desde 0.28 a un máximo 8.00; para la Zona Centro el promedio es 4.81, el menor valor 2.69, y el máximo 8.33; para la Zona Occidente el promedio resultó 5.07, el menor valor es 0.14 y máximo 12.7. La zona con menor rango de valores es la Central con 3. puntos entre valores máximo y mínimo.

A nivel local la información puede ser más importante, por ejemplo la ciudad de Coro cuenta con un promedio del porcentaje de pasante N° 200 en arenas de 10.9 %, con valor mínimo de 10.2% y máximo de 12.7%, para un rango de 2.5 puntos. Estos resultados corresponden a fuentes de agregados que limpian sus agregados mediante equipos de lavado. La ciudad de Maracaibo en cambio, cuenta con un promedio de 1.8%, Barquisimeto de 5%. Las arenas que presentan menor diferencia entre

sus valores de pasante N° 200 se ubican en la zona central del País.

La misma norma COVENIN 277 incluye además límites granulométricos para arenas y piedras a ser utilizadas en concretos convencionales que según el estudio efectuado no pueden ser cumplidos.

En este sentido, la figura N°3.2 resume mediante el promedio de gradaciones para el caso de piedra picada tamaño máximo 2,54 cms cuyo origen se ubica en la zona central del País. Observe que las especificaciones normativas se muestran en trazo discontinuo; por el contrario, las líneas continuas indican las curvas medias de resultados obtenidos con base a las categorías Agregado más grueso, Agregado más finos y Medio.

Con relación a las arenas, se concluyó que tampoco cumplen con las especificaciones granulométricas normativas; en este sentido, a manera de ejemplo se incluye la figura N° 3.3 que contiene curvas promedio de lotes, cuyo origen se ubica también en la Zona Central del País.

Destaca que aunque algunos lotes tuvieron comportamiento adecuado; otros tienden a presentar partículas más finas que las normadas.

4.- Diseños de mezclas de concreto

4.1- β óptimo. Influencia de la gradación Los límites granulométricos para finos y gruesos

contenidos en la Norma COVENIN 277 permiten elaborar mezclas con mejor trabajabilidad resultando más económicas porque tienden a tener menos vacíos, esto puede apreciarse mejor en la figura N° 4.1 donde aparecen las especificaciones normativas para finos y gruesos en trazos segmentados, la curva de la combinación óptima y dos curvas reales cercanas a los promedios normativos y la combinación real, lo que indica que la línea teórica de combinación para en β óptimo no puede ser alcanzada en su totalidad.

Cuando los agregados tienen gradaciones con diferencias muy marcadas a las limitadas por la Norma, puede ser imposible alcanzar una combinación óptima como se observa en la figura N° 4.2 donde se ha combinado piedra Tmáx. 2,54 cms. una arena fina de MF 1.6

4.2- Coeficientes Regionales para Diseño de Mezclas

El método para diseño de mezclas de concreto contenido en el **Manual de Concreto Estructural** (Porrero, Grases, Ramos, Velazco) está sustentado en dos leyes fundamentales, la Ley Triangular y la Ley de Abrams; la primera relaciona la dosis de cemento C (Kg/m³) con la relación agua/cemento (α) y el asentamiento (S) (cms) mediante la expresión $C = KxT^n / \alpha^m$, donde K, n, m son coeficientes que dependen de las características de los materiales componentes de la mezcla.

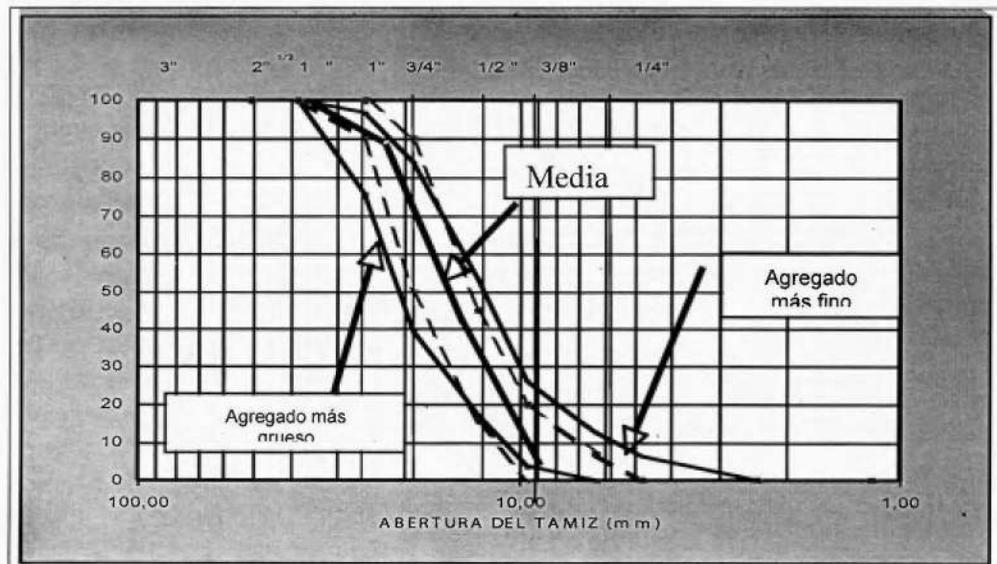
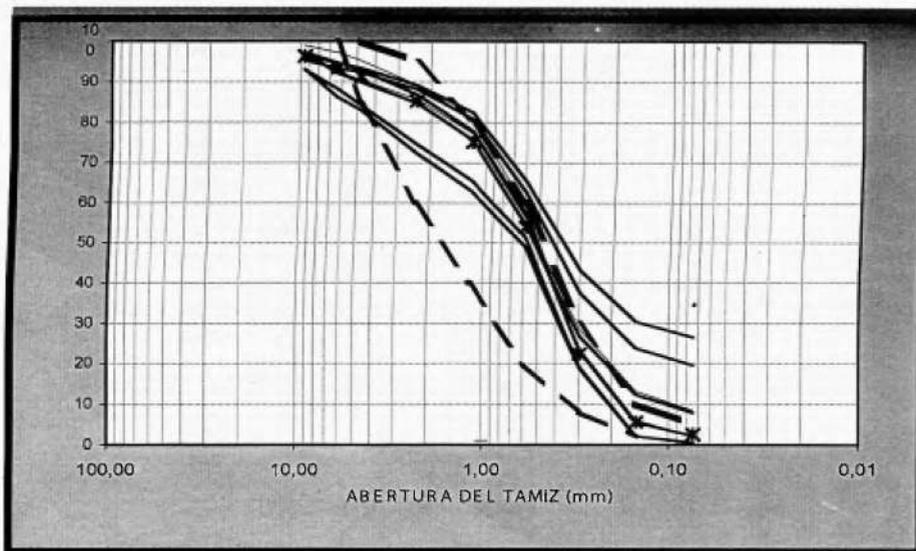
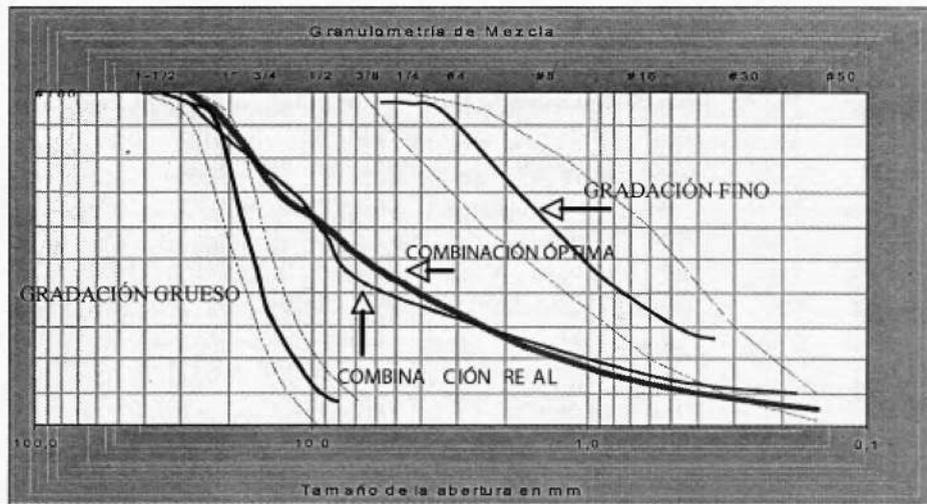


Figura N° 3.2 - Curvas granulométricas - Piedra Picada Tmáx. 2.54 cms - Zona Centro



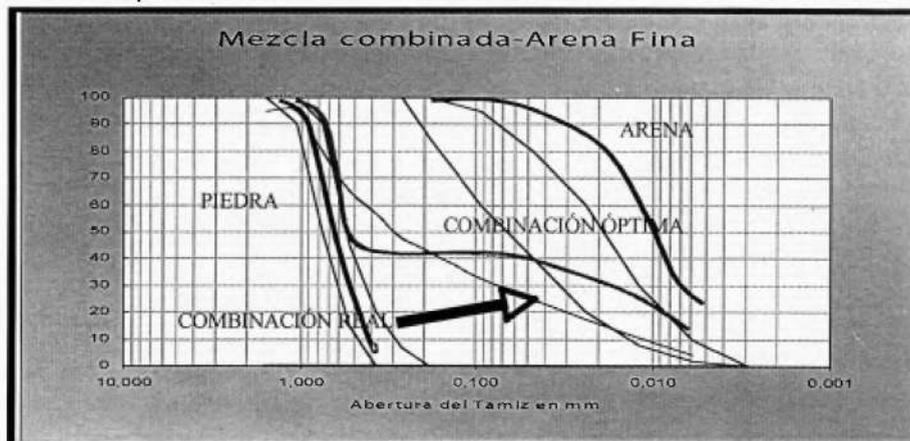
FIGUR A N° 3.3- Medias de curvas granulométricas – Lotes Arena – Zona Centro



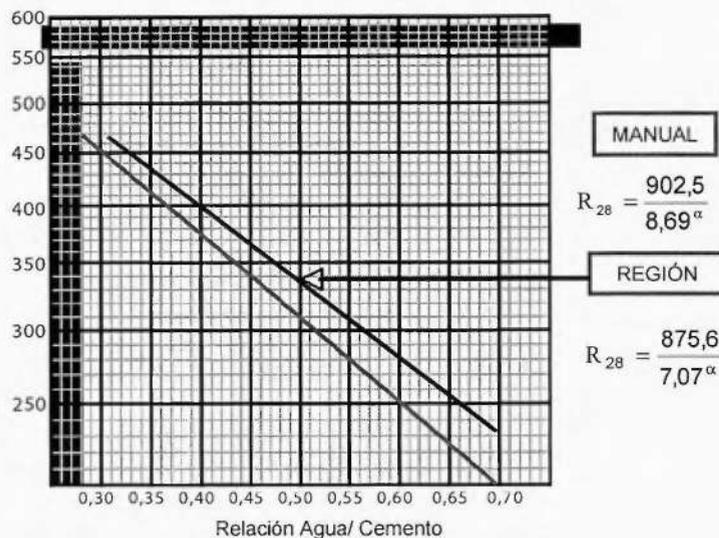
FIGUR A 4.1- Combinación óptima de agregados. Piedra Tmáx.2,54 cms

Beta óptimo 41%

MF 1.6



FIGUR A N° 4.2 – Combinación de agregado grueso normal con arena fina (MF. 1.6)

LEY DE ABRAMS - Sub- zona III-a. T_{máx} 2.54 cms

FIGUR A N° 4.3 –Ley de Abrams – Zona Occidente con referencia.
Manual de Concreto Estructural
FUENTE: Bonilla, G.; Sirit, Y. (2004)

Por otro lado, la Ley de Abrams establece la relación entre la resistencia “R” (kg/cm²), para un tiempo determinado, y la relación agua/ cemento, mediante la expresión $R = M/N^\alpha$; siendo los coeficientes M y N función de las características de los materiales, condiciones de ejecución y la edad de los ensayos.

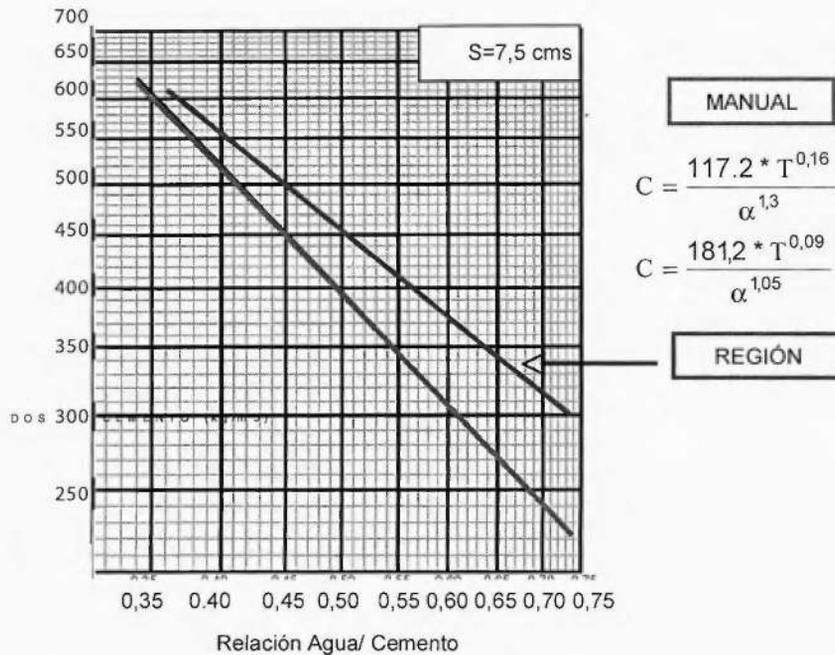
Bajo este contexto, la caracterización de los agregados por regiones geográficas suministró información acerca de aquellas propiedades de los agregados requeridas para la ejecución de diseños de mezclas de concreto fresco, donde se evaluaron promedios y desviaciones de pesos específicos, absorción, humedades, tamaño máximo, granulometrías; junto al comportamiento de estos agregados locales con un lote específico de cemento; de esta manera se evaluó la forma como se afectan los coeficientes de la Ley de Abram y de la relación Triangular contenidos en el Manual de Concreto Estructural, cuando los agregados tienen origen diferente a los utilizados en dicho estudio.

A manera de ilustración la figura N° 4.3 presenta como varían los coeficientes M y N de la Ley de Abrams, utilizando los como referencia los contenidos en el Manual de Concreto Estructural, cuando en lugar de utilizarse los agregados contemplados en el libro citado, se mezcla arena gruesa de río y piedra triturada de la zona occidental del País.

De esta figura se desprende que para una misma resistencia requerida de proyecto (f_{cr}) se requiere mayor relación α (agua/cemento) que la especificada en el manual; pero también se puede leer, como para una misma relación α se obtendrá un 9% de mayores resistencias.

Pareciera que con la relación contenida en la Figura N° 4.3 pudiera concluirse acerca de la calidad de los agregados de la zona en particular; sin embargo, si no se cuenta con el comportamiento determinado mediante la Relación Triangular, resultará muy pobre la información que realmente pueda considerarse útil; en este sentido la Figura N° 4.4 muestra esta relación con los mismos agregados para un asentamiento de 7,5 cms.

Extensión Manual del Concreto Estructural

RELACIÓN TRIANGULAR- Sub- zona III-a. T_{máx} 2.54 cms

FIGUR A N° 4.4 – Relación Triangular – Zona Occidente con referencia.
Manual de Concreto Estructura
FUENTE: Bonilla, G.; Sirit, Y. (2004)

Para una misma relación α en la figura N° 4.4, con asentamiento esperado de 7,5 cms; el material de la región requerirá mayor dosis de cemento (en orden de 14%) o, se puede entender también que para una misma dosis de cemento y asentamiento de 7,5 cms la mezcla exigirá mayor cantidad de agua al presentar mayor relación α .

Conforme a la información suministrada por ambas figuras, se puede concluir que los agregados de la región, considerados en la condición saturados con superficie seca, generan para un asentamiento de 7,5 cms. y una relación α determinada, una resistencia a los 28 días superior en 9%; sin embargo esta situación es posible debido a un aporte adicional en dosis de cemento de un 14%.

5- Conclusiones y recomendaciones

La producción agregados para usar en el concreto convencional requieren de un control de calidad rutinario que asegure la estabilidad en las características del producto ofrecido; sin embargo, de la evaluación efectuada sobre fuentes de suministros de agregados pertenecientes a las zonas en estudio se concluye que pocas fuentes de suministro mantienen el control necesario que al menos asegure un material limpio y estable en sus propiedades.

Esta situación exige de los profesionales responsables de la calidad de ejecución, mayor dedicación a la hora de seleccionar los agregados que serán utilizados en las mezclas de concreto; por lo que resulta conveniente visitar las fuentes de origen de los agregados verificando el estado de los equipos, existencia de laboratorios y observando la organización en general. De esta manera es posible obtener información adicional acerca de la calidad

del agregado de la región. En construcciones que lo ameriten es recomendable ejecutar ensayos periódicos que informen sobre las variaciones de las características de los agregados.

Por otra parte, las curvas granulométricas de los agregados evaluados en distintas regiones del País no cumplen las especificaciones recomendadas por la normativa nacional. Además, es necesario aplicar coeficientes regionales para realizar diseños de mezclas de concreto.

Ricardo Iglesias, William Garrido, Carlos Romensat, Luis Quintero y Julio Villegas. El Programas de computación estuvo a cargo Andrés Marcano y Caros Zambrano.

Igualmente a Yelitza Sirit (Laboratorios de Materiales - UCAB) coordinadora de los ensayos realizados de la investigación tratada en la ponencia.

Bibliografía

- Bonilla,G; Sirit Y..Regionalizar Coeficientes de Diseño de Mezclas de Concreto para desarrollar viviendas de Interés Social. Revista Tekne N°6. Facultad de Ingeniería UCAB. 2003. Caracas
- Bonilla,Guillermo. Caracterización de Agregados por Zonas Geográficas. Extensión del Método Manual de Concreto Estructural. Seminario Técnico Sidetur. Proyectos de Concreto Estructural según la Norma COVENIN 1753. Caracas. 2004
- Centeno, R. Inspecciones y Control de Obras. Ed. Vega. 1979. Caracas.
- Kuehl, Robert. Diseño de Experimentos. Ed. Thmpson Learning. 2001. Méjico
- Porrero, J; Ramos, C; Grases, J. Velazco, G. Manual de Concreto Estructural. Fondo Editorial. Sidetur 2004. Caracas.

Agradecimiento

El autor en nombre del equipo de investigación agradece al Fondo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación – FONACIT – y a la Universidad Católica Andrés Bello por el apoyo ofrecido.

Reconocimiento

A los estudiantes, hoy ingenieros, incorporados en el estudio de agregados y diseños de mezclas fueron Luis Colina, Edward Becerra. Karla Sánchez, Orlando Torres, Daniel Briceño, Laura Arocha, Adolfo Álvarez, Luis Chaparro, Carlos Padilla,