

ISSN 1409-2441

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
Enero/Diciembre 1998 VOLUMEN 8 Nos. 1 y 2



CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO ESTRUCTURAL Y DEL MORTERO DE PEGA EN VIVIENDAS

Mauricio Araya R.

Flor de María Muñoz, U.ª

Resumen

En nuestro país, las mezclas de concreto estructural y mortero de pega más utilizadas en viviendas de uno y dos pisos son las que se elaboran en el sitio de construcción. La resistencia (mal en ambos casos, depende de factores que intervienen tanto en la fase de producción como en la de colocación. Entre estos tenemos principalmente: la mano de obra, el equipo disponible, la calidad de los materiales y la supervisión profesional. En este trabajo se identifica la mala práctica que se presenta durante la preparación de uno u otro tipo de mezcla y que incide negativamente en la calidad de las mismas. Además se incorpora información técnica que puede servir como guía práctica a la hora de dosificar o variar las proporciones de los materiales en el sitio. Los resultados comprueban que en este tipo de obras se presentan deficiencias que afectan la resistencia (mal del concreto y que reducen la probabilidad de obtener concretos y morteros que cumplan con las especificaciones que exige el Código Sísmico de Costa Rica.

Summary

In our country, the structural concrete mixes and binding mortar more commonly used in houses of one or two floors are the ones made in the place of construction. The (mal resistance in both cases, depends on factors that occur either in the phase of production or in the placing in place. Among these we have: workmanship, equipment available, quality of materials, and professional supervision. This study identifies the mistakes or carelessnesses that most frequently occur during the preparation of one or the other type of mixes and that have a negative effect on their quality. It also provides technical information that can be useful as a practical guide when proportioning or when making variations in the proportions of materials in the place of construction. The results confirm that in this type of works there are deficiencies that affect the (mal resistance of mixes and decrease the probability of obtaining concrete and mortar that meet the specifications required in the Sismic Code of Costa Rica.

1. INTRODUCCIÓN

Los concretos estructurales y morteros de pega que se realizan en el sitio, no logran cumplir con la resistencia que se especifica en las normas de construcción o en los planos constructivos, lo que produce deficiencias potenciales en elementos estructurales tales como vigas, columnas, entrepisos y muros, y que pueden llegar a constituir un grave problema de seguridad.

La resistencia del concreto confeccionado en obra está gobernada por las condiciones que se dan desde el diseño y la selección de los materiales, hasta su fabricación y colocación. En este sentido es de suma importancia para la persona responsable del proyecto, contar con la información básica necesaria para diseñar la mezcla y hacer las recomendaciones pertinentes durante su preparación y colocación.

La falta de mano de obra calificada en el sector construcción en Costa Rica es un

Investigadores del Instituto de Investigaciones en Ingeniería, U.C.R.

problema constante. que se agudiza en épocas de alta demanda constructiva. Este trabajo es un documento base que señala los errores y malos hábitos detectados en sitio, a partir de una muestra representativa del tipo de edificación analizada durante la preparación y colocación del concreto y el mortero.

2. DEFINICIÓN Y UBICACIÓN DE LA MUESTRA

Esta investigación comprende un muestreo en obra del concreto estructural, mortero de pega, agregados y el cemento, utilizados en su elaboración, correspondientes a construcciones de viviendas de uno y dos pisos tomadas al azar dentro del Área Metropolitana de San José. La distribución de especímenes fue la siguiente:

| | | |
|-----------------|---------------|-----------------|
| Sector Norte: | Tibás | (3 especímenes) |
| | Moravia | (3 especímenes) |
| Sector Sur: | Desamparados | (3 especímenes) |
| | San Francisco | (3 especímenes) |
| Sector Oeste: | Escazú | (3 especímenes) |
| | Pavas | (3 especímenes) |
| Sector Este: | Curridabat | (3 especímenes) |
| | Tres Ríos | (3 especímenes) |
| Sector Central: | Zapote | (3 especímenes) |
| | San Pedro | (3 especímenes) |

En los especímenes de concreto y mortero el parámetro de comparación principal fue la resistencia a la compresión uniaxial, que se especifica a 28 días (f'c). El tipo de construcción considerada en el estudio fue únicamente de carácter privado; se excluyen las viviendas de interés social.

3. PRUEBAS DE LABORATORIO

Los especímenes para prueba proceden de las mezclas de concreto y mortero producidas en cada obra, para reflejar, de la manera más real posible, las condiciones presentes en el campo.

3.1. Concreto estructural:

Los testigos (cilindros de 150 mm x 300 mm) se curaron en cámara húmeda y se fallaron a 28 días; el valor de resistencia obtenido es el promedio de los tres valores. El procedimiento que se siguió para valorar la calidad del concreto fue el siguiente:

1. Recolección de la infonnación referente a la mezcla de la que se extrajo cada espécimen de concreto y se le asignó un código de identificación a cada uno.
2. Ejecución de la prueba AS.T.M. C 143-90: "Prueba de revenimiento del concreto con el cono de Abrahams".
3. Aplicación de la nonna AS.T.M. C 31-91: "Práctica estándar para preparar y curar especímenes de concreto en sitio".
4. Se prepararon los cilindros según la especificación AS.T.M. C 617-94: "Cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto".
5. Finalmente se pesaron las muestras para luego fallarlas siguiendo el procedimiento descrito por la nonna AS.T.M. C 39-86: "Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto".

3.2. Mortero de pega:

El procedimiento seguido comprendió:

1. Recolección de la infonnación referente a la mezcla de la que se extrajo cada espécimen de mortero y se le asignó un código de identificación a cada uno.
2. Confección de los cubos de prueba con base en la norma AS.T.M. C 109-93: "Método estándar de prueba de compresión uniaxial para morteros de cemento hidráulico".
3. Al cumplir veintiocho días de curado en la cámara húmeda, se procedió a fallar los cubos en la máquina Universal.

3.3. Agregado grueso:

Se realizaron las cuatro pruebas siguientes:

- A.S.T.M. C 127: "Pesos específicos y absorción de agregados gruesos".
- A.S.T.M. C 29: "Pesos unitarios".
- A.S.T.M. C 136: "Análisis granulométrico".
- A.S.T.M. C 131: "Prueba de abrasión en máquina Los Angeles".

3.4. Agregado fino:

También con base en las pruebas que se indican, se procedió a su caracterización:

- A.S.T.M. C 128: "Pesos específicos y absorción de agregados finos".
- A.S.T.M. C 29: "Pesos unitarios".
- A.S.T.M. C 136: "Análisis granulométrico".
- A.S.T.M. C 40: "Prueba de colorimetría".

3.5. Cemento tipo 1 MP:

Todas las construcciones involucradas en esta investigación utilizaron cemento tipo 1 MP (cemento *portland* modificado con puzolanas), por ser el único disponible comercialmente en el país. Las pruebas a que se sometió fueron:

- A.S.T.M. C 187: "Prueba de consistencia normal de un cemento hidráulico".
- A.S.T.M. C 191: "Prueba de tiempo de fraguado de un cemento hidráulico".
- A.S.T.M. C 188: "Peso específico de un cemento hidráulico".

En nuestro país el cemento *portland* tipo 1 MP se puede adquirir en sacos de papel *kraft* con un peso de 50 kg y su contenido prácticamente llena un cubo de 37 cm de lado, lo que implica un incremento de volumen con respecto al cemento *portland* tipo 1, esto obedece a la reducción del peso unitario masivo seco de 1 500 kg/m³ en el tipo 1 hasta 980 kg/m³ para el tipo 1 MP. Un saco de cemento *portland* tipo 1 de 50 kg llena un cajón de 33 cm de lado.

4. RESISTENCIAS DEL CONCRETO y EL MORTERO

El promedio de las resistencias a la compresión uniaxial para cada una de las obras se presenta en el cuadro N°1. A partir de esos datos se clasifican las mezclas en función de sus cualidades como se muestra en los cuadros 2 y 3.

Cuadro N°1. Resistencias promedio a la compresión para el concreto y el mortero muestreado en 30 viviendas del Área Metropolitana de San José.

| Construcción # | Cilindros de concreto | Cubos de mortero |
|----------------|--|--|
| | Resistencia promedio a la compresión a 28 días (kg/cm ²) | Resistencia promedio a la compresión a 28 días (kg/cm ²) |
| 1 | 110 | 148 |
| 2 | 164 | 216 |
| 3 | 186 | 125 |
| 4 | 78 | 221 |
| 5 | 272 | 162 |
| 6 | 155 | 163 |
| 7 | 141 | 242 |

| | | |
|----|-----|-----|
| 8 | 67 | 228 |
| 9 | 160 | 268 |
| 10 | 102 | 189 |
| 11 | 107 | 274 |
| 12 | 127 | 221 |
| 13 | 87 | 114 |
| 14 | 210 | 139 |
| 15 | 252 | 164 |
| 16 | 265 | 306 |
| 17 | 106 | 130 |
| 18 | 96 | 171 |
| 19 | 178 | 216 |
| 20 | 171 | 188 |
| 21 | 138 | 151 |
| 22 | 86 | 189 |
| 23 | 217 | 116 |
| 24 | 141 | 219 |
| 25 | 86 | 145 |
| 26 | 161 | 156 |
| 27 | 111 | 146 |
| 28 | 117 | 203 |
| 29 | 121 | 210 |
| 30 | 153 | 153 |

Cuadro N°2. Clasificación del concreto estructural en función de su resistencia a la compresión a 28 días.

| Calidad | Resistencia a la compresión ($k2/cm^2$) | Cantidad de obras | % de obras | Conclusión |
|--|---|-------------------|------------|------------|
| Muy mala | 0-100 | 6 | 20 | no cumple |
| Mala | 100 - 175 | 17 | 56 | no cumple |
| Regular, podría cumplir a un plazo mayor | 175 a menos de 210 | 2 | 7 | no cumple |
| Buena | más de 210 | 5 | 17 | sí cumple |

Cuadro N°3. Clasificación del mortero de pega en función de su resistencia a la compresión a 28 días (A.S.T.M. C 270).

| Calidad | Resistencia a la compresión ($k2/cm^2$) | Cantidad de obras | % de obras | Conclusión |
|-------------------|---|-------------------|------------|------------|
| Muy mala (tipo O) | 25 - 53 | 0 | 0 | no cumple |
| Mala (tipo N) | 53 - 126 | 3 | 10 | no cumple |

| | | | | |
|--|--------------------|----|----|-----------|
| Buen para usar en mampostería (tipo S) | 126 a menos de 175 | 12 | 40 | sí cumple |
| Buen para usar en mampostería (tipo M) | más de 175 | 15 | 50 | sí cumple |

De los cuadros N°2 y N°3 se evidencia el bajo porcentaje de obras que cumplen con la resistencia estipulada en el Código Sísmico de Costa Rica. Para el caso del concreto, solamente el 17% lo cumplió. En el mortero, el porcentaje de cumplimiento es mayor (50%) si se toma como parámetro de comparación el antiguo mortero tipo PL, para el cual se especificaba una resistencia de 175 kg/cm² a 28 días. No obstante, el porcentaje de morteros que cumplen con la resistencia mínima aceptable para su uso en mampostería (tipo M Y S) es del 90%.

En los cuadros N°4 y N°5 aparecen, para cada obra, la dosificación volumétrica utilizada para el concreto y mortero respectivamente.

Cuadro N°4. Resumen de los factores más importantes relacionados con la preparación del concreto en las 30 obras analizadas. Área Metropolitana de San José.

| Obra # | Lugar | f _c (kg/cm ²) | Dosif. Vol. (C: A: P) | Revenimiento (cm) | Equipo |
|--------|---------------|---|--------------------------|----------------------|-----------|
| 1 | Tres Ríos | 110 | 1 : 2 : 4 | 18,0 | batidora |
| 2 | Tres Ríos | 164 | 1 : 2 : 4 | 21,0 | batidora |
| 3 | Tres Ríos | 186 | 1 : 3 : 2 | 18,0 | batidora |
| 4 | Curridabat | 78 | 1 : 3 : 2 | 21,5 | batidora |
| 5 | Curridabat | 272 | 1 : U : 3 | 14,0 | batidora |
| 6 | Curridabat | 155 | 1 : 2,5 : 3 | 21,0 | batidora |
| 7 | San Francisco | 141 | 1 : 2 : 4 | 40 | batidora' |
| 8 | San Francisco | 67 | 1 : 3 : 3 | 210 | manual |
| 9 | San Francisco | 160 | 1 : 2 : 3 | 40 | manual |
| 10 | Desamparados | 102 | 1 : 2 : 2 | 210 | batidora |
| 11 | Desamparados | 107 | 1:2:3 | 18,0 | batidora |
| 12 | Desamparados | 127 | 1 : 2 : 3 | 20,0 | manual |
| 13 | Zanote | 87 | 1 : 3 : 4 | 20,0 | batidora |
| 14 | Zanote | 210 | 1 : 2 : 3 | 210 | batidora |
| 15 | Zanote | 252 | 1 : 2 : 3 | 70 | batidora |
| 16 | San Pedro | 265 | 1:2:4 | 15,0 | batidora |
| 17 | San Pedro | 106 | 1 : 3 : 3 | 16,0 | batidora |
| 18 | San Pedro | 96 | 1 : 4 : 3 | 225 | batidora |
| 19 | Tibás | 178 | 1 : 2 : 3 | 19,0 | batidora |
| 20 | Tibás | 171 | 1 : 2 : 4 | 20,0 | manual |
| 21 | Tibás | 138 | 1:3:3 | 5,5 | manual |
| 22 | Moravia | 86 | 1:3:3 | 20,0 | batidora |

| | | | | | |
|----|---------|-----|---------------|------|----------|
| 23 | Moravia | 217 | 1 : 2 : 3,5 | 15,0 | batidora |
| 24 | Moravia | 141 | 1 : 2,5 : 2,5 | 125 | illanual |
| 25 | Escazú | 86 | 1 : 2 : 2 | 18,0 | manual |
| 26 | Escazú | 161 | 1 : 2 : 3 | 18,0 | manual |
| 27 | Escazú | 111 | 1 : 2: 2 | 18,0 | batidora |
| 28 | Pavas | 117 | 1 : 2: 3 | 18,0 | batidora |
| 29 | Pavas | 121 | 1 : 2 : 4 | 18,0 | manual |
| 30 | Pavas | 153 | 1 : 2: 3 | 8,0 | manual |

Cuadro N°5. Resumen de los factores más importantes relacionados con la preparación del mortero en las 30 obras analizadas. Área Metropolitana de San José.

| Obra # | Lugar | Resist. 28 días (k2/cm ²) | Dosif. Vol. (C: A) | Equipo |
|--------|---------------|---------------------------------------|--------------------|----------|
| 1 | Tres Ríos | 148 | 1 : 4 | manual |
| 2 | Tres Ríos | 216 | 1 : 2,5 | batidora |
| 3 | Tres Ríos | 125 | 1 : 3 | batidora |
| 4 | Curridabat | 221 | 1 : 2,5 | batidora |
| 5 | Curridabat | 162 | 1 : 3 | manual |
| 6 | Curridabat | 163 | 1 : 3,5 | batidora |
| 7 | San Francisco | 242 | 1 : 3 | manual |
| 8 | San Francisco | 228 | 1 : 3 | manual |
| 9 | San Francisco | 268 | 1 : 3 | manual |
| 10 | Desamparados | 189 | 1:3 | batidora |
| 11 | Desamparados | 274 | 1:3 | batidora |
| 12 | Desamparados | 221 | 1 : 3 | manual |
| 13 | Zaõote | 114 | 1 : 3,5 | manual |
| 14 | Zaõote | 139 | 1 : 4 | batidora |
| 15 | Zaõote | 164 | 1 : 3 | batidora |
| 16 | San Pedro | 306 | 1 : 2 | manual |
| 17 | San Pedro | 130 | 1 : 3 | batidora |
| 18 | San Pedro | 171 | 1:3 | batidora |
| 19 | Tibás | 216 | 1:3 | batidora |
| 20 | Tibás | 188 | 1 : 3 | manual |
| 21 | Tibás | 151 | 1 : 3,5 | manual |
| 22 | Moravia | 189 | 1:3 | batidora |
| 23 | Moravia | 116 | 1 : 4 | batidora |
| 24 | Moravia | 219 | 1 : 2,5 | manual |
| 25 | Escazú | 145 | 1 : 3 | manual |
| 26 | Escazú | 156 | 1 : 4 | manual |
| 27 | Escazú | 146 | 1 : 4 | manual |
| 28 | Pavas | 203 | 1:3 | manual |
| 29 | Pavas | 210 | 1 : 2,5 | manual |
| 30 | Pavas | 153 | 1 : 3,5 | manual |

Las dosificaciones volumétricas de los cuadros N°4 y N°5 el número correspondiente al cemento portland tipo 1 MP se refiere a sacos completos de 50 kg y no a cajones de 33 cm de lado, los que sí fueron utilizados para medir los agregados.

Del análisis de la infonación del cuadro N°4 se tiene que:

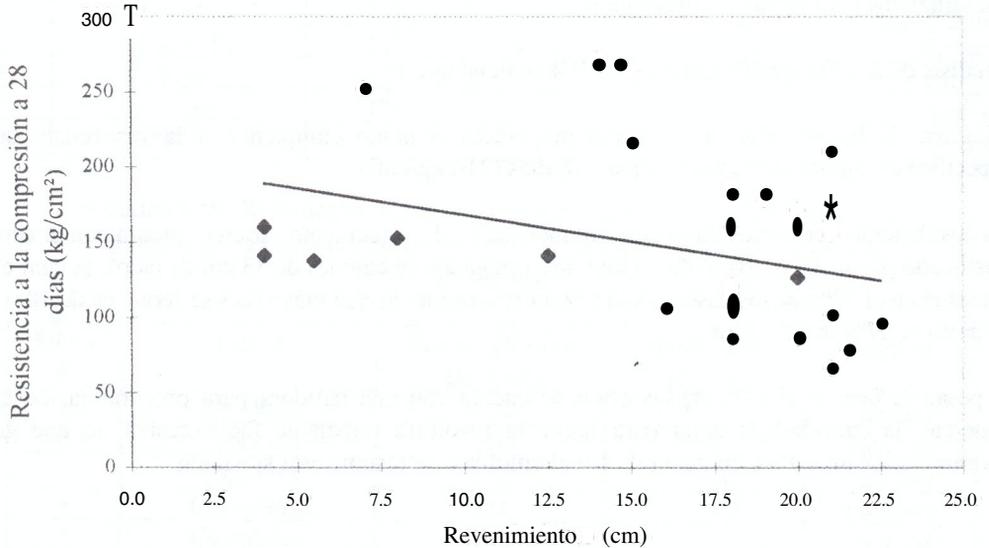
- Ninguna de las mezclas de concreto preparadas a mano cumplen con la resistencia que se especifica en planos constructivos para 28 días (210 kg/cm^2).
- La dosificación más utilizada es por volumen de 1 : 2 : 3 (cemento: arena: piedra con el cemento dosificado por saco completo de 50 kg y los agregados en cajones de 33 cm de lado), la cual estuvo presente en el 30% de los casos. A la vez, el revenimiento que más veces se repite es de 18,0 cm y se da en el 27% de las obras.
- A pesar de que en el 67% de las obras se cuenta con una batidora para preparar la mezcla de concreto, la cantidad de agua para hacer la revoltura trabajable fue excesiva, lo que generó revenimientos muy altos en general. En el cuadro 6 se resume esta situación.

Cuadro N°6. Resumen de los revenimientos presentados durante la preparación del concreto en las 30 construcciones investigadas.
Área Metropolitana de San José.

| Revenimiento (cm) | Cantidad de obras | % de obras | Conclusión |
|-------------------|-------------------|------------|-------------------|
| menor a 7,5 | 4 | 13 | mezcla muy seca |
| 7.5 - 15,0 | 5 | 17 | mezcla adecuada |
| mayor de 15,0 | 21 | 70 | mezcla muy húmeda |

La relación entre las resistencias a la compresión a 28 días y los revenimientos correspondientes se muestran en el gráfico 1.

Gráfico 1. Revenimiento vs. Resistencia promedio a 28 días para las 30 construcciones muestreadas.



En lo que respecta al mortero, del análisis del cuadro N°5 se tiene que:

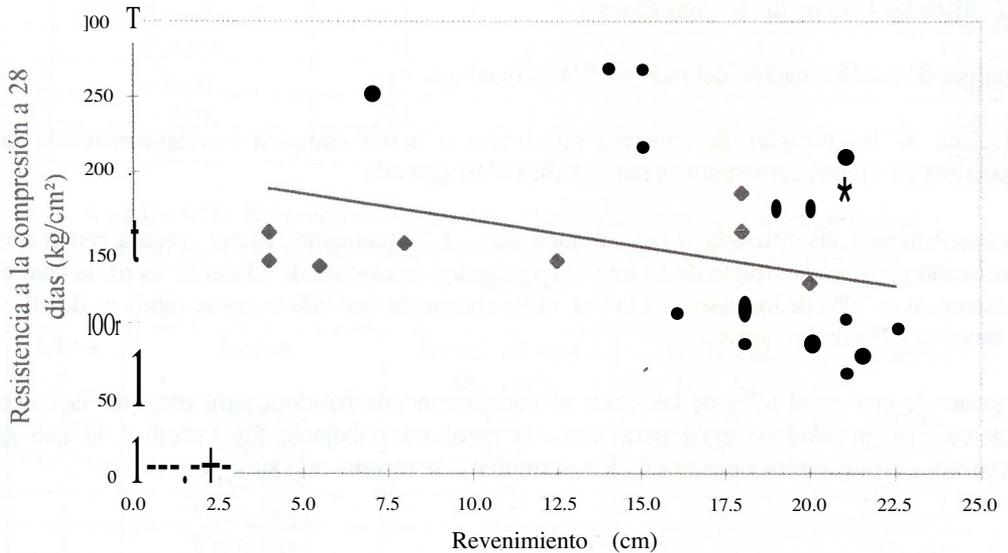
- De las 20 construcciones que cuentan con una batidora para hacer concreto, sólo el 35% la utilizó para fabricar mortero, el 65% restante lo hace en forma manual.
- La dosificación volumétrica más común es de 1 : 3 (cemento: arena), la cual se presenta en el 53% de las construcciones. En ninguno de los casos se utiliza cal.
- Del total de las construcciones, el 57% de ellas fabricó la mezcla de mortero de pega en forma manual.

En los cuadros N°7 y N°8 se presentan los datos obtenidos en el laboratorio que caracterizan a cada uno de los agregados (fino y grueso) de las 30 construcciones.

Cuadro N°7. Resumen de las características más importantes relacionadas con el agregado fino encontrado en las 30 viviendas. Área Metropolitana de San José.

| Obra# | Fuente | \bar{x}_s | %D | M.F. | Contaminación |
|-------|------------------|-------------|------|------|---------------|
| 1 | Tajo Ochomogo | 2.0 | 13.0 | 3.2 | < 500 p.p.m. |
| 2 | Tajo Ochomogo | 2.0 | 13.2 | 3.1 | < 500 p.p.m. |
| 3 | Tajo Comagsa | 1.9 | 15.3 | 3.3 | < 500 p.p.m. |
| 4 | Tajo Electriona | 2.0 | 12.6 | 3.0 | < 500 p.p.m. |
| 5 | Tajo Cerro Minas | 1.9 | 14.1 | 3.5 | < 500 p.p.m. |
| 6 | Tajo Ochomogo | 2.0 | 13.5 | 3.2 | < 500 p.p.m. |
| 7 | Tajo Cerro Minas | 2.0 | 13.1 | 3.1 | < 500 p.p.m. |
| 8 | Tajo Cerro Minas | 2.0 | 14.9 | 3.2 | < 500 p.p.m. |

Gráfico 1. Revenimiento vs. Resistencia promedio a 28 días para las 30 construcciones muestreadas.



En lo que respecta al mortero, del análisis del cuadro N°5 se tiene que:

- De las 20 construcciones que cuentan con una batidora para hacer concreto, sólo el 35% la utiliza para fabricar mortero, el 65% restante lo hace en forma manual.
- La dosificación volumétrica más común es de 1 : 3 (cemento: arena), la cual se presenta en el 53% de las construcciones. En ninguno de los casos se utiliza cal.
- Del total de las construcciones, el 57% de ellas fabricó la mezcla de mortero de pega en forma manual.

En los cuadros N°7 y N°8 se presentan los datos obtenidos en el laboratorio que caracterizan a cada uno de los agregados (fino y grueso) de las 30 construcciones.

Cuadro N°7. Resumen de las características más importantes relacionadas con el agregado fino encontrado en las 30 viviendas. Área Metropolitana de San José.

| Obra # | Fuente | ~s | %D | M.F. | Contaminación |
|--------|------------------|-----|------|------|---------------|
| 1 | Tajo Ochomogo | 2.0 | 13.0 | 3.2 | < 500 O.O.m. |
| 2 | Tajo Ochomogo | 2.0 | 13.2 | 3,1 | < 500 D.D.m. |
| 3 | Tajo Comagsa | 1,9 | 15,3 | 3,3 | < 500 O.O.m. |
| 4 | Tajo Electriona | 20 | 12,6 | 30 | < 500 D.D.m. |
| 5 | Tajo Cerro Minas | 1,9 | 14,1 | 3,5 | < 500 O.O.m. |
| 6 | Tajo Ochomogo | 20 | 13,5 | 32 | < 500 D.D.m. |
| 7 | Tajo Cerro Minas | 20 | 13,1 | 3,1 | < 500 o.o.m. |
| 8 | Tajo Cerro Minas | 20 | 14,9 | 3,2 | < 500 D.D.m. |

| | | | | | |
|----|------------------|-----|------|-----|--------------|
| 9 | Tajo Cerro Minas | 2,1 | 12,4 | 3,0 | < 500 p.p.m. |
| 10 | Tajo Electriona | 2,1 | 11,8 | 2,8 | < 500 p.p.m. |
| 11 | Tajo Cerro Minas | 2,0 | 15,6 | 2,9 | < 500 p.p.m. |
| 12 | Tajo Ochomogo | 2,0 | 13,6 | 3,2 | < 500 p.p.m. |
| 13 | Tajo Cerro Minas | 2,0 | 14,0 | 2,9 | < 500 p.p.m. |
| 14 | Tajo Cerro Minas | 2,0 | 13,7 | 3,7 | < 500 p.p.m. |
| 15 | Tajo Electriolla | 2,0 | 13,4 | 3,0 | < 500 p.p.m. |
| 16 | Tajo Cerro Minas | 2,0 | 14,0 | 3,3 | < 500 p.p.m. |
| 17 | Tajo Cerro Minas | 1,9 | 16,2 | 2,9 | < 500 p.p.m. |
| 18 | Tajo Electriona | 2,1 | 12,0 | 3,0 | < 500 p.p.m. |
| 19 | Río Ochomogo | 2,3 | 6,1 | 3,2 | > 500 p.p.m. |
| 20 | Tajo Pedregal | 1,9 | 15,2 | 3,3 | < 500 p.p.m. |
| 21 | Tajo Cerro Minas | 2,0 | 13,8 | 3,2 | < 500 p.p.m. |
| 22 | Tajo Pedregal | 2,0 | 14,1 | 3,5 | < 500 p.p.m. |
| 23 | Tajo La Garita | 2,2 | 9,2 | 2,5 | < 500 p.p.m. |
| 24 | Tajo Cerro Minas | 2,1 | 10,8 | 2,6 | < 500 p.p.m. |
| 25 | Tajo El Común | 2,2 | 9,3 | 3,0 | < 500 p.p.m. |
| 26 | Tajo La Garita | 2,1 | 13,1 | 2,9 | < 500 p.p.m. |
| 27 | Tajo El Común | 2,2 | 10,1 | 3,0 | < 500 p.p.m. |
| 28 | Tajo La Garita | 2,0 | 14,1 | 2,7 | < 500 p.p.m. |
| 29 | Tajo Comagsa | 2,0 | 13,4 | 3,1 | < 500 p.p.m. |
| 30 | Tajo Comagsa | 2,0 | 13,8 | 2,9 | < 500 p.p.m. |

G_{ij}: peso específico bruto seco.

M.F.: módulo de finura.

%D: absorción.

p.p.m.: partículas por millón.

Cuadro N°8. Resumen de las características más importantes relacionadas con el agregado grueso encontrado en las 30 viviendas.

Área Metropolitana de San José.

| Obra # | Fuente | ~s | %D | %Abr. 100 rey. | %Abr. 500 rey. |
|--------|------------------|----|-----|-------------------|-------------------|
| 1 | Tajo Ochomogo | 24 | 67 | 5 | 20 |
| 2 | Tajo Ochomogo | 24 | 44 | 5 | 22 |
| 3 | Tajo Comagsa | 24 | 36 | 4 | 17 |
| 4 | Tajo Electriolla | 24 | 42 | 5 | 21 |
| 5 | Tajo Cerro Minas | 24 | 45 | 3 | 16 |
| 6 | Tajo Ochomogo | 24 | 56 | 6 | 19 |
| 7 | Tajo Cerro Minas | 24 | 67 | 5 | 20 |
| 8 | Tajo Cerro Minas | 23 | 7,0 | 5 | 16 |
| 9 | Tajo Cerro Minas | 25 | 36 | 5 | 21 |
| 10 | Tajo Electriona | 25 | 41 | 4 | 18 |
| 11 | Tajo Cerro Minas | 25 | 36 | 7 | 17 |
| 12 | Tajo Ochomogo | 25 | 50 | 6 | 16 |
| 13 | Tajo Cerro Minas | 24 | 8,1 | 4 | 21 |
| 14 | Tajo Cerro Minas | 25 | 38 | 4 | 18 |

| | | | | | |
|----|------------------|-----|-----|---|----|
| 15 | Tajo Electriona | 2.4 | 4,0 | 7 | 18 |
| 16 | Tajo Cerro Minas | 2.6 | 3.4 | 4 | 19 |
| 17 | Tajo Cerro Minas | 2,4 | 5,6 | 6 | 16 |
| 18 | Tajo Electriona | 2,3 | 3.8 | 7 | 20 |
| 19 | Tajo La Pista | 2,4 | 4.7 | 7 | 27 |
| 20 | Tajo Pedregal | 2.3 | 5,7 | 4 | 22 |
| 21 | Tajo Cerro Minas | 2.5 | 4.1 | 5 | 15 |
| 22 | Tajo Pedregal | 23 | 6.1 | 5 | 22 |
| 23 | Tajo La Garita | 2.1 | 8,9 | 7 | 29 |
| 24 | Tajo Cerro Minas | 2.4 | 6.7 | 9 | 17 |
| 25 | Tajo El Común | 2.3 | 5,8 | 6 | 21 |
| 26 | Tajo La Garita | 2.3 | 6.3 | 6 | 24 |
| 27 | Tajo El ComÚn | 2,3 | 8,1 | 8 | 18 |
| 28 | Tajo La Garita | 2,2 | 5,4 | 4 | 22 |
| 29 | Tajo Comagsa | 2.4 | 6.7 | 3 | 16 |
| 30 | Tajo Comagsa | 2.4 | 6.8 | 6 | 19 |

~s: peso espeCífico bruto seco.

%Abr: porcentaje de abrasión.

%D: absorción.

Los módulos de finura (M.F.) del **cuadro 7** se obtuvieron a partir de pruebas de laboratorio con material seco y sin lavar.

Del **cuadro N°7** se destaca lo siguiente:

- Solamente en una construcción (la #19), se utilizó arena de río, y es el único agregado fino que presenta una contaminación apreciable.
- El GBS más alto es de 2,3 y el más bajo igual a 1,9. En cada caso la absorción alcanza 6,1% y 16,2% respectivamente, valores que representan el %D más bajo y el más alto.

Para el caso de la piedra, en el **cuadro N°8** sobresalen los aspectos que a continuación se exponen:

- El GBS más alto fue de 2,6 y el más bajo igual a 2,1. Sus correspondientes valores de absorción fueron 3,4% y 8,9%.
- En la prueba de abrasión con la máquina Los Ángeles se obtienen dos propiedades *del* agregado conocidas como tenacidad a 100 revoluciones y abrasión a 500

revoluciones. Para la primera el porcentaje de pérdida debe ser menor al 10% y en el segundo caso menor al 40% para pavimentos, o al 50% para concreto hidráulico estructural. Se observa que todos los agregados gruesos analizados cumplen con estas dos propiedades. Sin embargo, esto no indica que realmente el agregado sea de buena calidad, debido a que las especificaciones que rigen esta prueba son muy conservadoras.

5. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS PARA EL CONCRETO y EL MORTERO

El análisis estadístico de la muestra constituida por 30 viviendas escogidas al azar dentro del Área Metropolitana de San José, refleja que el concreto elaborado en obra, como promedio, es de baja calidad. Del **cuadro N°9** se obtiene que el promedio de la muestra *sólo llega* a alcanzar *el* 69% de la resistencia especificada para 28 días. Además, si a los 146 kg/cm² se le adiciona el

valor de la desviación estándar de 55 kg/cm², tampoco se cumplirá con $f_c=210$ kg/cm².

Por otro lado, en la desviación estándar, en el coeficiente de *variación y en la amplitud se*

refleja la gran variabilidad de los resultados, lo que indica que los procesos de fabricación del concreto en el sitio son muy irregulares.

Cuadro N°9. Resultados del análisis estadístico del concreto estructural correspondiente a 30 viviendas ubicadas en el Área Metropolitana de San José.

| Medida estadística | Valor calculado |
|---------------------------|------------------------|
| Promedio | 146 kg/cm ² |
| Desviación estándar | 55 kg/cm ² |
| Coefficiente de variación | 37,9% |
| Mediana | 140 kg/cm ² |
| Máximo | 272 kg/cm ² |
| Mínimo | 67 kg/cm ² |
| Amplitud | 205 kg/cm ² |

Cuadro 10. Resultados del análisis estadístico del mortero de pega correspondiente a 30 viviendas ubicadas en el Área Metropolitana de San José.

| Medida estadística | Valor calculado |
|---------------------------|------------------------|
| Promedio | 186 kg/cm ² |
| Desviación estándar | 49 kg/cm ² |
| Coefficiente de variación | 26,2 % |
| Mediana | 179 kg/cm ² |
| Máximo | 306 kg/cm ² |
| Mínimo | 114 kg/cm ² |
| Amplitud | 192 kg/cm ² |

En el mortero, el promedio sí cumple con las especificaciones (para tipo M Y S) pero, aunque la variabilidad que se refleja en las distintas medidas estadísticas es menor que en el concreto, su magnitud sigue siendo muy alta.

Algunos factores presentes en la totalidad de las construcciones, y que no benefician de ninguna manera la resistencia del concreto o del mortero son:

- No hubo control del agua; no se utilizó medida alguna para dosificar el agua con respecto al peso del cemento y tampoco se tomó en cuenta el agua presente en los agregados.
- En ninguno de los casos existe memoria de cálculo que respalde el diseño de mezcla.
- No se almacenó el cemento en obra en forma adecuada. Quizás esto obedece a que el periodo de rotación es muy rápido (inferior a 15 días).

- En todos los casos se desconoce la granulometría que presentan los agregados.
- En ninguna de las obras se utilizó algún tipo de vibrador para consolidar y colocar el concreto.

6. CONCLUSIONES

Quizás el mayor problema con los agregados es que no existe en obra control alguno sobre su calidad. Generalmente, el profesional a cargo no se encuentra en la construcción a la hora de recibir el material y la persona que lo preocupa por exigir la calidad del agregado que se solicitó.

De acuerdo con los datos obtenidos, se evidencia la relación directa que existe entre el peso del espécimen y su resistencia a la compresión, siendo más marcada para el caso de los cilindros de concreto, ya que estos al contener agregado grueso poseen una resistencia que es función de la calidad de esa piedra. Además, entre más pesado es un agregado, siempre y cuando no sea reactivo, es mejor su calidad, debido a que esto es reflejo de tilla menor porosidad.

Con base en el estudio estadístico, la probabilidad de obtener (en el Área Metropolitana) una mezcla de concreto que cumpla con la resistencia especificada a 28 días es del 11,4%. De igual forma, la probabilidad de lograr un mortero tipo M es del 58,7% y uno del tipo S es del 88,9%.

En esta investigación se encontró que el 70% de las obras presentaron revenimientos superiores a los 15 cm. Se verificó que las mezclas presentaban problemas de granulometría y que estaban pasadas de agua. En cada una de las 30 construcciones no se tuvo el mínimo control de la relación agua/cemento.

El mayor revenimiento que se dio fue de 22,5 cm y el menor de 4,0 cm, lo que en ambos casos no es recomendable, ya que indican mezclas muy húmedas o muy secas.

El concreto más resistente (272 kg/cm³) tenía una dosificación volumétrica de 1 : 1,5 : 3 (cemento: arena: piedra), un revenimiento de 14,0 cm y fue preparado en batidora. Contrariamente el concreto más deficiente (67 kg/cm³) presentaba una dosificación volumétrica de 1 : 3 : 3 (e : A : P), un revenimiento de 21,0 cm y fue hecho en forma manual. Estos dos ejemplos son evidencia de que si se tiene una adecuada dosificación y un revenimiento aceptable, se pueden esperar buenos resultados.

El mortero más resistente (306 kg/cm³) tenía una dosificación volumétrica de 1 : 2 (cemento: arena) y fue preparado en forma manual. El más deficiente (114 kg/cm³) presentó una dosificación volumétrica de 1 : 3,5 (C : A) y fue hecho también manualmente.

Para el cemento *portland* tipo 1 MP los resultados de las pruebas de laboratorio fueron los siguientes:

- A.S.T.M. C 187: la consistencia nominal se obtuvo para un 28,5% de agua en peso con relación al cemento.
- A.S.T.M. C 191: el tiempo de fraguado inicial se dio para un tiempo de 144,6 minutos.
- A.S.T.M. C 188: el peso específico presentó un valor de 2,96.

Los valores de resistencia obtenidos corresponden a mezclas de mortero y concreto que fueron curados durante 28 días. Si se toma en cuenta que el curado en obra en este tipo de construcciones es alrededor de 7 días, es de esperar que las resistencias alcanzadas en obra estén por debajo de los valores

encontrados en el laboratorio al fallar los testigos de prueba.

7. RECOMENDACIONES

Cuando se dosifique por volumen, no se deben mezclar distintos tipos de medidas (cajones, baldes, carretillos) pues al hacerlo se modifica la dosificación a cumplir.

En cada obra se deben tener recipientes para dosificar el agua. Estos deben tener unidades de litros para medir volúmenes, con el fin de obtener directamente el peso del agua en kilogramos.

El ingeniero o arquitecto no debe limitarse a labores administrativas, ya que en la construcción es donde se presentan las verdaderas dificultades y donde se necesita que una persona capacitada pueda dar solución a los distintos problemas que se presentan. Ante la ley él es el responsable de la calidad de la obra.

Es necesario que se imponga como requisito en todo tipo de construcción, el control de calidad, como mínimo, para el concreto y el mortero. Con los resultados de las pruebas de laboratorio, el profesional a cargo puede enterarse de la calidad resultante y si está cumpliendo con las especificaciones, o si existe la necesidad de hacer variaciones con el fin de obtener un producto seguro y resistente.

Se debe realizar la prueba de revenimiento cada vez que se preparan batidas nuevas de mezcla de concreto en el sitio. El equipo necesario es sencillo de utilizar, lo que facilita el entrenamiento de los operarios y maestros de obra para que puedan realizarla.

Cuando el cemento a utilizar sea *portland* tipo 1 MP, las dosificaciones por volumen usuales para *portland* tipo 1 (concreto y mortero) pueden seguir siendo utilizadas, siempre y cuando se especifique que la proporción correspondiente al cemento se debe interpretar como sacos enteros de 50 kg y la dosificación de los agregados en cajones de 0.0333 m³ de volumen, o sea recipientes cúbicos de aproximadamente 33 cm de lado interno. Esta forma de dosificar es muy práctica y de fácil entendimiento para los trabajadores en el sitio.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. *Specifications, test methods, practices, classifications and definitions*. U. S. A., 1990.
2. Araya R. M. *Control de calidad del concreto estructural y del mortero de pega en viviendas*. Tesis Lic. Ing. Civil. Universidad de Costa Rica, 1998.
3. Asociación A.C.I., C. R. *CÓmo hacer buenas mezclas de concreto*. 1era edición. San José, Costa Rica. 1992.
4. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. *Código Sísmico de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1987.
5. Comité A.C.I. 704. *Control de calidad del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. Editorial Limusa. México. 1990.
6. *Diario oficial La Gaceta*, # 167. San José, Costa Rica, 5 de setiembre de 1990.
7. Gronemeyer K., K. *Estudio de prefactibilidad para la aplicación del concreto premezclado en viviendas de una*

- y dos plantas. Tesis Lic. Ing. Civil, Universidad de Costa Rica. 1995.
8. Mendenhall. W. *Introducción a la probabilidad y la estadística*. Grupo Editorial Iberoamérica. México D. F., México. 1987.
 9. Merrit S.. F. *Enciclopedia de la construcción, arquitectura e ingeniería*. Editorial Océano. Barcelona, España, 1991.
 10. Muñoz U.. F. M. *Apuntes de clase del curso Afateriales de Construcción*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. 1995.
 11. Muñoz U.. F. M. *Mezclas de concreto con detergentes como aditivos*. 1. N. 1. 1., Universidad de Costa Rica. 1994.
 12. Muñoz V.. J. *Influencia de la cal en la resistencia a compresión de morteros*. Tesis Lic. Ing. Civil, Universidad de Costa Rica. 1995.
 13. Neville A., M. *Tecnología del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, Editorial Limusa, México, 1988.
 14. Payá P., M. *Hormigón vibrado y hormigones especiales*. Ediciones CEAC, Barcelona. España, 1975.
 15. Pereira S., I. *Control de calidad en viviendas de uno y dos pisos*. Tesis Lic. Ing. Civil, Universidad de Costa Rica, 1994.
 16. Productos de Concreto. *Catálogo general*. 14^a edición. San José. Costa Rica, 1992.
 17. Rojas R., A. *Evaluación del comportamiento del mortero de albañilería, con adherente y larga vida*. Tesis Lic. Ing. Civil. Universidad de Costa Rica, 1993.