

"ANALISIS ESTADISTICOS DE HORMIGON PRODUCIDOS BAJO Q.A."

Ing. Marcelo San Pedro

-Departamento Ingenieria de Plantas Quimicas - C.N.E.A.-

El propósito de la presentación de este informe es realizar una exposición consisa del diagrama de flujo operacional aplicado a la producción y control de calidad del hormigón armado colocado en el Proyecto L.P.R. del Departamento Ingeniería de Plantas Químicas de la Comisión Nacional de Energía Atómica, y la evaluación de los resultados obtenidos por la extracción de 1500 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm. con el propósito de definir en que medida a igual seguridad estructural es dable en proyectos futuros de igual nivel de calidad disminuir los coeficientes de seguridad de los materiales componentes en función de la evaluación estadística que más adelante será presentada.

DESCRIPCION GENERAL

El volumen aproximado de las obras alcanza a los 15.000 metros cúbicos, los cuales se dividen en los siguientes tipos de hormigones:

- a) Hormigones bajo Q.A. (Quality Assurance).
- b) Hormigones con control exhaustivo convencional según las normas IRAM y PRAEH.

Cabe destacar que dentro del grupo a) hay dos subgrupos diferenciados. Estos son:

- 1) Hormigón de 2.4 t/m³ de densidad, realizado con áridos silíceos (arena, canto rodado y cemento normal).
- 2) Hormigón pesado para protección biológica frente a la radiación con una densidad de 3.4 t/m³, realizado con áridos gruesos y finos obtenidos de la molienda en obra de piedra de magnetita extraída en San Juan.

Los hormigones de tipo a) son colocados en las zonas llamadas calientes, es decir en aquellas donde se realizan procesos que confinan materiales radioactivos y de gran poder de contaminación.

Las diferencias de densidades obedecen a la necesidad de aumentar los blindajes en función de la actividad a confinar, recordando que el poder de blindaje es una función de la densidad media lineal del material blindante y del espesor del mismo.

Por lo tanto este tipo de hormigones bajo garantía de calidad son los que constituyen la zona de transferencia de elementos combustibles nucleares, las celdas de proceso y almacenamiento de materiales procesados.

A su vez la importancia de los edificios que contienen di-

chas celdas hizo que se decidiera aplicar un control exhaustivo convencional sobre los hormigones de los mismos, no teniendo importancia su capacidad blindante frente a la radiación sino su resistencia estructural.

METODOS DE EVALUACION (Para ambos hormigones).

Para la evaluación de los datos hemos realizado un programa de computadora con el fin de poder manejar series parciales o totales del orden de hasta 5000 datos, con este fin se dispuso colocar como parámetro de entrada (INPUT) la mayor cantidad de datos de cada probeta, para definir perfectamente su procedencia y propiedades.

Para esto, por cada elemento, se dispone de la siguiente información:

- a) Nro. de ubicación en la serie parcial o total.
- b) Nro. de probeta (Nro. del laboratorio) cabiendo destacar que estos no son correlativos debido a que de la serie total de extracciones se realizan ensayos a 7,19 y 28 días.
- c) Resistencia a 28 días.
- d) Fecha de colocación en obra.
- e) Tipo de mezcla.
- f) Ubicación geográfica en la obra.

De esta manera se pueden evaluar los siguientes tipos de casos:

- 1) Serie total de datos.
- 2) Series parciales cualesquiera; ejemplo: 4 días o 1 mes dado de hormigonado.
- 3) Evolución mensual de todos los Hormigones.
- 4) Evaluación por fecha de colocación realizando la evolución total de la obra.
- 5) Evaluación de determinadas mezclas a través de los diferentes hormigonados.
- 6) Evaluación de una determinada estructura en su totalidad.

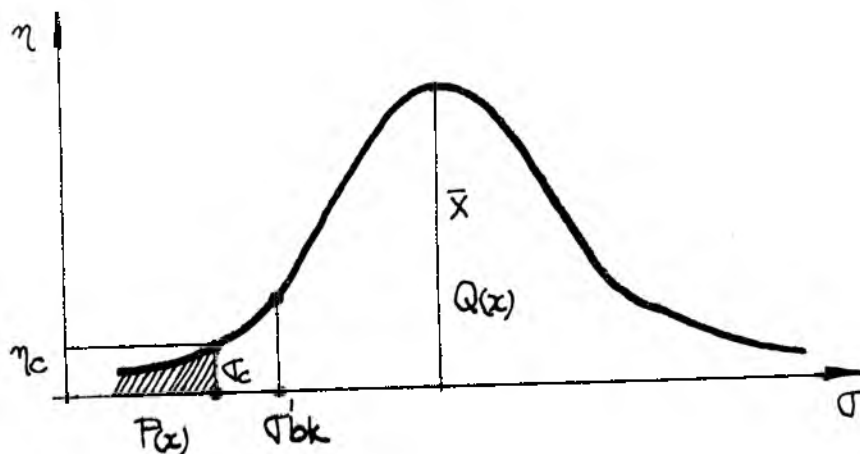
Es de destacar que según (5) pueden existir diferentes mezclas (no más de dos), en un mismo hormigonado en función de la dificultad de colocación debido a la gran densidad de armaduras en determinados encuentros, empalmes de armaduras o refuerzos estructurales. Asimismo es importante tener en cuenta que si bien las mezclas son diferentes no se combinan hormigones de 2.4 t/m³ con hormigones de 3.4 t/m³ (de magnetita) sino que solo se cambia el tamaño máximo del árido grueso componente de ambos hormigones.

Una vez ingresada la información se realizan las siguientes operaciones:

- a) Impresión de la serie de datos.
- b) Graficación de histograma
- c) Graficación de frecuencias relativas.
- d) Graficación de frecuencias acumuladas.
- e) Cálculo de:
 - 1) MEDIA
 - 2) DESVIACION MEDIA
 - 3) DESVIACION TIPICA
 - 4) MOMENTOS ESTADISTICOS DE 1°; 2°; 3° y 4°
ORDEN
 - 5) COEFICIENTE DE SESGO
 - 6) COEFICIENTE DE CURTOSIS
 - 7) RESISTENCIA CARACTERISTICA
 - 8) COEFICIENTE DE DISPERSION
 - 9) FIABILIDAD DE CALCULO

Con los puntos 4, 5 y 6 se puede evaluar la simetría de la curva o sea la tendencia de los diferentes valores y el empujamiento de la misma ya sea platicurtica, mesocurtica o leptocurtica. Así se puede acatar las diferencias respecto de los valores obtenidos frente a una normal (0;1) desplazada una media y con una desviación típica dada.

Luego por integración de la curva normal con los parámetros evaluados, se obtiene la fiabilidad de la resistencia de cálculo y con la ordenada la frecuencia de aparición del valor cálculo, según muestra el siguiente gráfico:



- $P(X)$ = Probabilidad de resistencia menores a $\sqrt{\text{cálculo.}}$
 $Q(X)$ = Probabilidad de resistencia mayores a $\sqrt{\text{cálculo.}}$
 $P(X) + Q(X) = 1$
 η_c = Frecuencia de aparición de $\sqrt{\text{cálculo.}}$
 T'_{bk} = Resistencia característica.

$$P(X) = 0,05 \text{ (según PRAEH)}$$

$$Q(X) = 1 - 0.05 = 0,95$$

Por la evaluación de series totales y teniendo en cuenta las bajas dispersiones de las diferentes series parciales se llegan a valores de fiabilidad para la resistencia de cálculo del orden del 99.9%.

Esto permite afirmar que:

- a) Los esfuerzos realizados a través de los controles de calidad de los diferentes materiales y componentes, como así también de los equipos y capacitación del personal, han llevado a un aumento considerable de la fiabilidad estructural de una obra que merece una evaluación particular por su propósito (según British Standart la fiabilidad debe ser del 99% para obra nuclear).
- b) Al aceptarse niveles de menor fiabilidad estructural para obras de este tipo, digamos 95% como fijan ACI, CEB, PRAEH se puede inferir que, con menores márgenes de seguridad en las dosificaciones de los materiales y con controles adecuados de todas las partes del sistema de recepción de materiales, producción y colocación, se pueden reducir costos, los cuales superan al de la implementación de dichos controles en obra y laboratorio de ensayos.

CONCLUSION

Debido a esta experiencia lograda en la obra L.P.R. se utilizarán todos estos resultados, experiencias y sistemas de producción en el futuro proyecto de la Planta de Tratamiento de Residuos Radioactivos los cuales tendrán un volumen de Hormigón Armado de aproximadamente 50000 m³ de los cuales un 20% será hormigón pesado 3.4 t/m³ de densidad.