

TABLA 1.—PRINCIPALES CAUSAS DE VARIACIONES DE RESISTENCIA

Variaciones intrínsecas del concreto	Variaciones en los procedimientos de ensaye
Variaciones en la relación agua-cemento debidas a: Control deficiente en la dosificación del agua. Variaciones excesivas en la humedad de los agregados	Procedimientos de muestreo inconsistentes. Técnicas de fabricación no uniformes:
Variaciones en el consumo de agua debidas a: Variaciones en la granulometría de agregados. Falta de uniformidad en los materiales.	Compactación variable. Manejo excesivo de las muestras. Cuidado deficiente de los especímenes frescos.
Variaciones en las características y proporciones de los componentes: Agregados Cemento Puzolana Aditivos	Deficiencias en el curado: Variación de la temperatura. Variación de la humedad.
Variaciones por efecto de transporte, colocación y compactación.	Procedimientos de ensaye inadecuados: Cabeceo incorrecto de los especímenes. Ensaye deficiente.
Variaciones en la temperatura y en el curado.	

TABLA 2.—NORMAS PARA CONTROL DE CONCRETO

Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes grados de control			
	Excelente	Bueno	Regular	Malo
Variaciones globales:				
Construcción general	Inferior a 10.0	10.0 a 15.0	15.0 a 20.0	Superior a 20.0
Control de laboratorio	Inferior a 5.0	5.0 a 7.0	7.0 a 10.0	Superior a 10.0
Variaciones en los ensayos:				
Control de campo	Inferior a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	Superior a 6.0
Control de laboratorio	Inferior a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	Superior a 5.0

NOTA: Estas normas representan el promedio de cilindros de 28 días de edad calculado a partir de un número grande de ensayos. Pueden esperarse valores diferentes para concretos especiales.

factor de seguridad excesivamente grande. Los métodos de ensaye correctos reducen estas variaciones, por consiguiente deben respetarse estrictamente los procedimientos especificados.

Es evidente la importancia que tiene el utilizar equipo de Laboratorio adecuado como lo establece la Norma E 329 de A.S.T.M., pues de éste -- dependerá la precisión de los ensayes. "Los resultados uniformes de ensayes no son necesariamente resultados de ensayes precisos". El equipo y los procedimientos de laboratorio deberán de verificarse periódicamente y los aparatos que así lo requieren calibrarse según lo establecen las normas respectivas.

Para lograr obtener un concreto, en el cual la mayoría de los resultados de ensayes sean superiores al valor de f'_c , valor conocido como resistencia de proyecto, es necesario que el promedio de los resultados de los ensayes a compresión sea superior a este valor. No solo debe interesar este valor promedio, sino también la variabilidad de los valores de la resistencia, ya que a medida que se tiene mayor variabilidad, debe subir el valor del promedio, para no excederse de la cantidad límite de valores especificados que pueden quedar por debajo de la resistencia de proyecto. Esta variabilidad depende de la forma y control de la dosificación y mezclado, de la uniformidad de los agregados, de la humedad de estos y su granulometría, el tipo de cemento, el control del revenimiento etc.

Deberán hacerse ensayes suficientes para tener la información que nos represente al concreto fabricado y emplear conceptos estadísticos para interpretar los resultados de ensayes de resistencia y deducir de ellos la calidad y resistencia potenciales del concreto en la obra. Eliminando discrepancias por juicios o interpretaciones personales.

Los resultados de los ensayes de resistencia a la compresión de cilindros de concreto en obras controladas, puede suponerse que caen dentro de la curva de distribución normal de frecuencias, Fig. 1 cuando el control es bueno, los valores estarán cercanos al promedio y la curva será alta y cerrada; si por el contrario el control es deficiente, las variaciones en la resistencia aumentan y la curva resultará baja y abierta, Fig. 2.

Las abscisas representan las resistencias obtenidas en los ensayes y las ordenadas la frecuencia con que se presentan dichas resistencias.

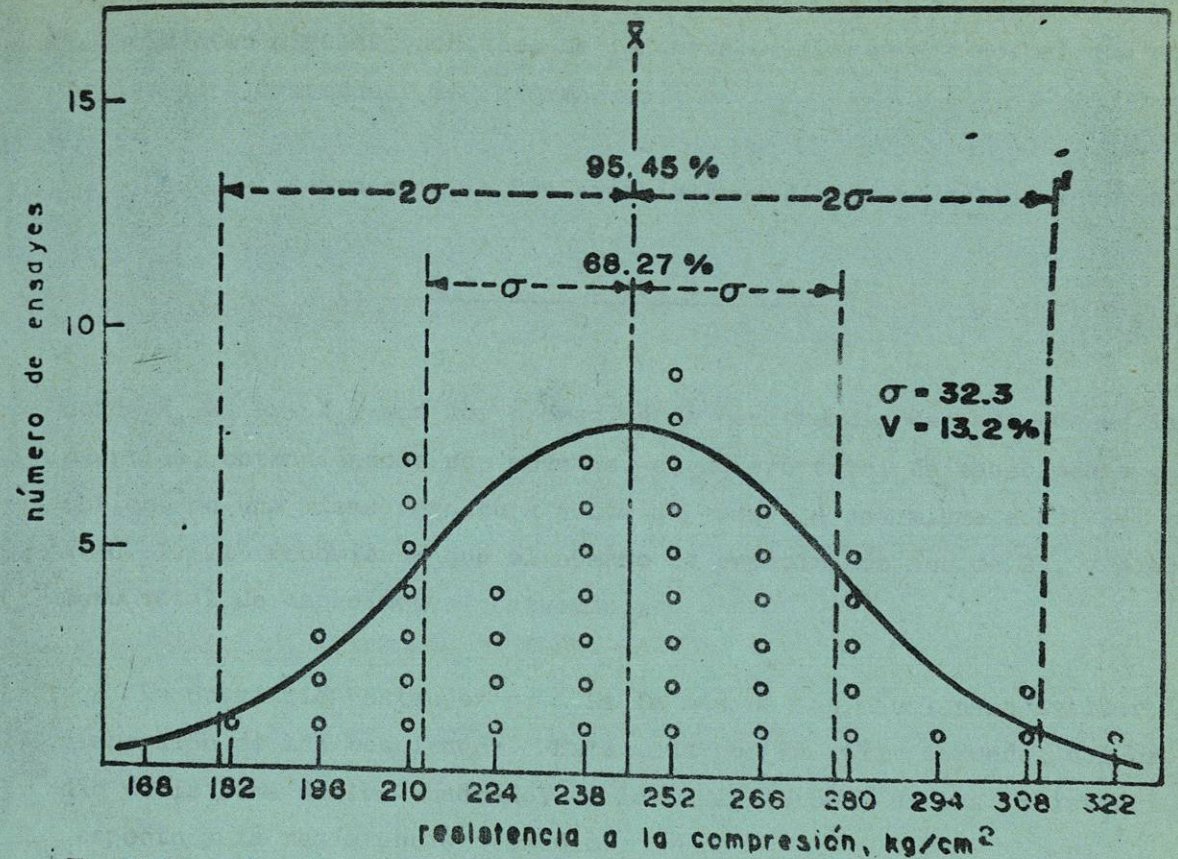


Fig. 1. Distribución normal de frecuencia de 46 ensayos de resistencia.

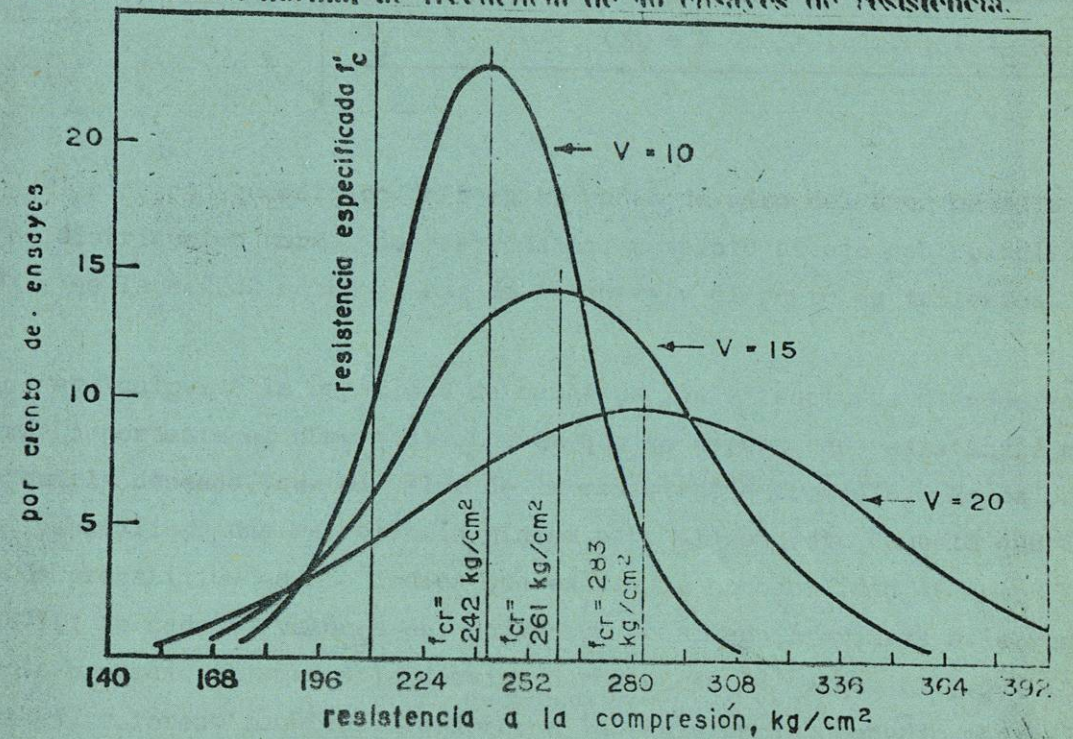


Fig. 2. Curvas normales de frecuencia para coeficientes de variación de 10, 15 y 20 por ciento.

Resistencia promedio requerida f_{cr} , basada en una probabilidad de uno en diez de que un ensayo caiga debajo de la resistencia especificada f_c de 210 kg/cm².

Existen algunas funciones de la curva de frecuencia normal que son --
útiles para comprender la información.

La \bar{X} .- Representa la Resistencia Promedio de todos los ensayos.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

donde X_1, X_2, \dots, X_n , son los promedios de resistencia de cada una de las --
muestras, entendiéndose por muestra, el número total de especímenes que se
obtiene de una misma revoltura y que se ensaya a una misma edad, (el comité
A. C. I. 218 recomienda que el número de especímenes sea de 2), y n el nú-
mero total de especímenes ensayados.

La desviación estandar σ . Es la medida mas usual para evaluar la --
dispersión de los resultados. Está dada por la raíz cuadrada, del prome--
dio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias, --
respecto a la resistencia promedio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n}}$$

El concepto geométrico de σ es el radio de giro del área bajo la cur-
va de distribución normal de frecuencias, respecto al eje centroidal del --
área y es la medida entre el eje de la curva y el punto de inflexión.

Para calcular la capacidad de carga de las estructuras de concreto, --
es más importante el número de ensayos que se espera den resistencia meno-
res que la deseada, que el valor de la resistencia promedio. No es prác--
tico especificar una resistencia mínima para el concreto, puesto que la --
ley de probabilidades nos indica que existe la probabilidad de que el ---
15.87% (1 de cada 6) valores del universo, resulten inferiores a la resis--
tencia promedio (\bar{X}) menos la desviación estandar (σ) y que el 2.27% (1 de
cada 44) valores, resulten inferiores a la resistencia promedio menos 2 ve-
ces la desviación estandar y que el 0.14% (1 de cada 741) resulten menor --
que la resistencia promedio menos 3 σ .

El coeficiente de variación V , es la desviación estandar expresada como porcentaje de la resistencia promedio.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

Esta función permite expresar el grado de dispersión como porcentaje y no como valor absoluto.

La tabla N° 2 muestra los coeficientes de variación para diferentes grados de control que pueden esperarse en proyectos controlados. Los valores son el resultado de experiencias obtenidas de un gran número de trabajos.

En la tabla N° 3 tomada del suplemento al N° 11 de la revista IMCYC - se muestran los coeficientes de variación del concreto que pueden obtenerse para las distintas condiciones de mezclado.

Las variaciones de la resistencia del concreto, dentro de una revoltura, se determinan fabricando y ensayando un grupo de cilindros de esa misma revoltura. Si suponemos que una muestra de concreto es uniforme, cualquier variación en la resistencia entre especímenes compañeros fabricados de dicha muestra, se deberá a discrepancias en la fabricación, en el manejo o en el ensaye.

Se requiere la información de por lo menos 10 muestras tomadas de diferentes revolturas, para obtener valores confiables de la desviación estandar y el coeficiente de variación en los ensayes.

$$\sigma_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R}$$

$$V_1 = \frac{\sigma_1}{\bar{X}} \times 100$$

donde:

σ_1 = desviación estandar en los ensayes

$\frac{1}{d_2}$ = constante que depende del número de cilindros de cada muestra (0.8865 para 2 especímenes)

\bar{R} = intervalo, que se encuentra restando la resistencia mas baja de la resistencia más alta del grupo de cilindros compañeros.

V_1 = coeficiente de variación en los ensayes.

\bar{X} = resistencia promedio