



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE GRÁFICOS PARA EL CONTROL DE
CALIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO.**

TESÍS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
PEDRO REYES ESTRADA**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. RENÉ MUCIÑO CASTAÑEDA**

Toluca, México; Junio de 2013

ÍNDICE

	Página.
INTRODUCCIÓN	
Planteamiento del problema	7
Justificación	7
Hipótesis	8
Objetivo General	9
Alcance	9
Metodología	9
Capítulo 1 PRUEBAS EN CAMPO	10
1.1 Muestreo de concreto hidráulico fresco	11
1.2 Revenimiento en el concreto hidráulico fresco	12
1.3 Elaboración de especímenes cilíndricos	14
Capítulo 2 PRUEBAS EN LABORATORIO	16
2.1 Curado	16
2.2 Cabeceo	17
2.3 Ensaye	18
Capítulo 3 DATOS	20
3.1 Revenimiento	22
3.2 Resistencia	24
Capítulo 4 RESULTADOS	26
4.1 Revenimiento	26
4.2 Resistencia	28
4.3 Media, varianza y desviación estándar	32

Página.

Capítulo 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
5.1 Precauciones para evitar errores	35
5.2 Criterios de aceptación o rechazo	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXO I TABLA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO.	49
ANEXO II TABLA DE DATOS DE REVENIMIENTO.	54
ANEXO III TABLA DE DATOS DE RESISTENCIA.	55
ANEXO IV TABLA DE PROMEDIO DE DOS ENSAYES DE RESISTENCIA DE LA MISMA MUESTRA.	57
ANEXO V TABLA G FACTORES DE LA GRÁFICA DE CONTROL PARA LA TENDENCIA CENTRAL (Wadsworth, 2005).	58
ANEXO VI TABLA H FACTORES DE LA GRÁFICA DE CONTROL PARA LA DISPERSIÓN; FACTORES PARA LAS GRÁFICAS DE RANGO (Wadsworth, 2005).	59

Lista de Figuras

	Página.
Figura 1.1 Muestreo del concreto fresco.	12
Figura 1.2 Elaboración del revenimiento.	13
Figura 1.3 Elaboración de especímenes cilíndricos.	14
Figura 2.1 Cuarto de curado para especímenes de concreto.	16
Figura 2.2 Cabeceo de especímenes de concreto.	17
Figura 2.3 Ensaye de especímenes de concreto.	18
Figura 2.4 Tipos de falla que se pueden presentar en los ensayos a compresión (NMX-C-083-ONNCCE-2002).	19
Figura 3.1 Carriles de alta velocidad donde se obtuvieron las muestras de prueba para determinar el control de calidad.	20
Figura 3.2 Puente Inferior Vehicular construido vista de entrada.	22
Figura 3.3 Histograma de los revenimientos del concreto hidráulico fresco.	23
Figura 3.4 Histograma del promedio de dos ensayos a compresión en cilindros de concreto a 28 días.	25
Figura 4.1 Gráfica de mediciones individuales x para revenimiento.	26
Figura 4.2 Gráfica de la mediana para registros de revenimiento.	27
Figura 4.3 Gráfica de promedio para datos de resistencia.	29
Figura 4.4 Gráfica de rango para datos de resistencia.	30
Figura 4.5 Gráfica de desviación estándar para datos de resistencia.	31
Figura 5.1 Diagrama para control de calidad (Wadsworth, 2005).	38

Figura 5.2 Gráfica de falla durante el desarrollo de una obra.	41
	Página.
Figura 5.3 Gráfica de falla de maquinaria después de mucho tiempo en funcionamiento.	42
Figura 5.4 Diagrama de bloque para el proceso de calidad.	44

Lista de Tablas

	Página.
Tabla 1.1 Tolerancias del revenimiento permitidas por la norma NMX-C-156-ONNCCE-2010.	13
Tabla 1.2. Factores de corrección por esbeltez (NMX-C-083-ONNCCE-2002).	15
Tabla 3.1 Características del concreto hidráulico y las pruebas realizadas.	21
Tabla 3.2 Distribución de frecuencias de 159 mediciones de revenimiento de concreto hidráulico fresco.	23
Tabla 3.3 Distribución de frecuencias de 159 promedios de resistencia de concreto hidráulico.	24

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

El control de calidad contiene todos los mecanismos, acciones, herramientas que se realizan para detectar la presencia de variaciones. La función del control de calidad que surge es la de una organización de servicio, para medir las especificaciones establecidas a un producto y proporcionar una medida de las variaciones con respecto a lo que debe de cumplir.

Cualquier producto que no cumpla las propiedades establecidas en las normas vigentes respectivas o en lo que establece el proyecto para decir que es correcto, será analizado para determinar su calidad y así poder proponer una mejora en el.

Para controlar la calidad del producto se realizan pruebas de muestreo y así verificar que las características sean adecuadas.

El control de calidad tradicionalmente se aplica por los laboratorios de materiales en supervisión de obra. El control de calidad es la aplicación de procedimientos científicos y métodos estadísticos normalizados en la planificación, recogida de datos y análisis para toma de decisiones no sustentadas en conjeturas.

El control de calidad se hace en gráficos de control con la finalidad de registrar procedimientos y detectar rápidamente cualquier anomalía del procedimiento, así el objetivo del control de calidad exige un esfuerzo sistemático, en primer lugar para eliminar las causas asignables y en segundo para mantenerlo dentro de los estándares de calidad fijados.

Justificación

En cualquier procedimiento de la prestación de servicios, se produce variabilidad. Por ejemplo en obras civiles similares el concreto utilizado presenta variabilidad ya sea por causas impredecibles de origen desconocido, por causas previsibles debidas a factores humanos, a los instrumentos o a la organización. Al estudiar cualquier procedimiento es posible eliminar las causas conocidas asignables, de tal forma que la variabilidad presente en los resultados sea debida únicamente a causas no asignables. En ese momento se dice que el proceso se encuentra en estado de control.

El control de calidad del concreto hidráulico se presenta por medio de gráficos para registrar parámetros de forma que se detecte, cuanto antes, cualquier situación que modifique la

especificación, lo que permitirá eliminar las causas especiales de variabilidad en la obtención del resultado final.

Hipótesis para control de calidad de revenimiento y resistencia del concreto hidráulico.

Para el control de calidad del concreto hidráulico se presentan gráficos de resistencia y de revenimiento basados en las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2004 (Norma Mexicana; Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.).

- Revenimiento (NMX-C-156-ONNCCE-2010 “Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco”).

Ho: si revenimiento nominal menor de 50 mm entonces tolerancia +/- 15 mm.

H1: si revenimiento nominal de 50 a 100 mm entonces tolerancia +/- 25 mm.

H2: si revenimiento nominal mayor de 100 mm entonces tolerancia +/- 35 mm.

- Resistencia (NMX-C-083-ONNCCE-2002 “Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto”).

Debe cumplir que

Ho: $f'c \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$ a los 28 días de edad.

Si $f'c$ es diferente, la desviación estándar debe cumplir lo siguiente:

H₁: $s \leq 35 \text{ kgf/cm}^2$ para mínimo 30 pruebas.

Si el número de pruebas es insuficiente la resistencia mínima se calcula

$$H_2: fp_{min} = f'c - s \left[\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{10} \right]$$

Dónde:

fp_{min} es el valor mínimo aceptable del promedio de pruebas consecutivas, en MPa (kgf/cm^2).

$f'c$ es la resistencia a la compresión especificada en MPa (kgf/cm^2).

t_{10} es 1.282 (por normatividad).

t_1 es 2.326 (por normatividad).

s es la desviación estándar para resistencia a la compresión, 3.43 MPa (35 kg_f/cm²).

n es el número de pruebas consecutivas.

Objetivo General

Construir gráficos de control para concreto hidráulico clase I premezclado, con el propósito de tener una referencia en el análisis de los resultados del concreto ensayado en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la UAEM.

Alcance

El alcance es elaborar un documento de referencia para un control con mayor precisión que se pueda utilizar en las obras que se construyen y así poder garantizar la calidad de la infraestructura que se crea.

Metodología

Se revisan gráficos de control presentados en diferentes fuentes de información donde se concluye el que se va a utilizar, dependiendo del origen de los datos que pueden ser datos individuales, datos agrupados hasta de diez elementos por muestra, o bien datos que se seleccionan siguiendo alguno de los diferentes procedimientos estadísticos de muestreo para determinar, primero si cumplen con lo que exige el proyecto y/o normatividad aplicable, posteriormente determinar los límites de control que se establecen de acuerdo al gráfico que se utilice analizando la gráfica de los resultados plasmados y definir si se encuentra el procedimiento de elaboración en estado de control total. Si el procesamiento de gráficos indica control total se tiene que mantener el funcionamiento del proceso, pero si este se encuentra fuera de control la primera acción que hay que tomar es mejorar el funcionamiento de los que intervienen para la elaboración del concreto monitoreando continuamente las actividades que se realizan.

Capítulo 1 PRUEBAS EN CAMPO.

Los ensayos que se realizan para el control de calidad, pueden clasificarse según los medios utilizados, en dos grupos conocidos:

- Pruebas en campo y
- Pruebas en laboratorio

⇒ Ensayo In Situ.

Los ensayos in situ se realizan en la obra para la determinación de propiedades al concreto hidráulico en estado fresco.

Estos ensayos son normalizados, reglamentados y rígidos en cuanto a alguna especificación para comprobar si un material satisface un aspecto determinado. Entre los ensayos organolépticos más importantes están:

La apariencia externa, que es la primera impresión que produce la contemplación del material para distinguir su uniformidad, en el caso del concreto hidráulico son: color, fluidez, tamaño máximo, entre otros.

Para certificar si el concreto empleado en obra responde a una calidad requerida en proyecto, se agregan procedimientos que bien ejecutados determinan la aceptación o el rechazo del concreto en términos de la consistencia, la fluidez y la elaboración de especímenes para el ensayo a compresión en el laboratorio.

La certificación implica el uso de normas aptas en un material, esto es por lo general el resultado de un acuerdo entre el solicitante y el constructor. Lo cual conlleva a métodos de ensayos normalizados.

El equipo que se utiliza en campo para la ejecución de las pruebas al concreto hidráulico fresco es el siguiente:

- Recipiente no absorbente con capacidad mínima de 15 L.
- Charola para almacenar la muestra.
- Cucharon con capacidad aproximada de 1 L.
- Flexometro.
- Cono no absorbente con diámetro inferior de 200 mm y diámetro superior de 100 mm y 300 mm de altura.
- Varilla de acero circular y lisa de 16 mm (5/8") de diámetro y 600 mm de longitud.
- Pala.

- Guantes de hule.
- Moldes cilíndricos de material no absorbente con diámetro de 150 mm y altura de 300 mm.
- Enrasador.
- Mazo de goma.

La calidad del concreto se establece por medio de:

1.1 Muestreo de concreto hidráulico fresco (NMX-C-161-1997-ONNCCE “Concreto Fresco Muestreo”).

El muestreo del concreto hidráulico fresco consiste en recuperar una proporción representativa para determinar el revenimiento y la resistencia a la compresión del concreto endurecido.

La muestra del concreto fresco se realiza con un recipiente de capacidad mínima de 15 litros, una charola con capacidad para el volumen total de la muestra y un cucharón con capacidad de un litro que evite pérdida de material por sus costados, el equipo es no absorbente y es impermeable.

El muestreo del concreto procedente de **mezcladoras estacionarias** se obtiene al interceptar el flujo de descarga de la mezcladora con el recipiente a la mitad de la descarga del tambor o al desviar el flujo del concreto sin segregación de modo que descargue en el recipiente.

El muestreo del concreto procedente de **pavimentadoras** se toma con cucharón en al menos cinco puntos distribuidos en el área de descarga.

El muestreo del concreto procedente de **olla de camión mezclador o agitador** (Figura 1.1) se realiza en un mínimo de tres intervalos en el recipiente durante el 15 % y el 85 % de la descarga, también se puede desviar el flujo completamente de modo que descargue en el recipiente.

La cantidad de la muestra debe de ser suficiente para realizar la prueba del revenimiento y elaboración de cilindros o del volumen necesario si se va a realizar alguna otra prueba. El tiempo para la obtención de la primera y la última porción de la muestra no debe ser mayor de 15 minutos, la muestra después se transporta al lugar donde se efectuaran las pruebas. Se homogeneiza para asegurar su uniformidad, el tiempo para usar la muestra después de la última porción es de máximo 5 minutos, durante el procedimiento se debe de proteger

la muestra del sol, el viento y otros factores que pudieran alterar las características del concreto en estado fresco.



Figura 1.1 Muestreo del concreto fresco.

1.2 Revenimiento en el concreto hidráulico fresco (NMX-C-156-ONNCCE-2010 “Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco”).

El revenimiento es una medida que se obtiene por medio de un procedimiento estandarizado para determinar la consistencia del concreto hidráulico fresco (figura 1.2) en términos de la disminución de altura, y que tiene una aceptación para valores que van desde 2 hasta 20 cm para un tamaño nominal máximo del agregado de 50 mm.

Se mezcla la muestra obtenida para asegurar su uniformidad y disminuir su modo de variación entre sí. Las tolerancias que marca la Norma NMX-C-156-ONNCCE-2010 se presentan en la tabla 1.1.



Figura 1.2 Elaboración del revenimiento.

Tabla 1.1 Tolerancias del revenimiento permitidas por la norma NMX-C-156-ONNCCE-2010.

Revenimiento nominal (mm)	Tolerancia (mm)
Menor de 50	± 15
De 50 a 100	± 25
Mayor de 100	± 35

La desviación estándar máxima al efectuar el ensayo de revenimiento es de 7 mm para un solo operador y de 12.5 mm entre operadores, además dos determinaciones obtenidas no deben diferir más de 20 mm por un mismo operador y más de 35 mm por diferentes operadores.

1.3 Elaboración de especímenes cilíndricos (NMX-C-160-ONNCCE-2004 “Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto”).

Para la elaboración de los especímenes cilíndricos (figura 1.3) aplica la norma NMX-C-160-ONNCCE-2004. Las dimensiones de los cilindros de concreto para prueba son de 150 mm de diámetro y de 300 mm de altura, con tamaño máximo nominal del agregado de 50 mm, si la relación del diámetro con la altura difiere a la de estos valores se hace un ajuste por esbeltez como lo indica la tabla 1.2.



Figura 1.3 Elaboración de especímenes cilíndricos.

Tabla 1.2. Factores de corrección por esbeltez (NMX-C-083-ONNCCE-2002).

Relación h/D	F.C.	Relación h/D	F.C.	Relación h/D	F.C.	Relación h/D	F.C.
2,000	1,000	1,750	0,990	1,500	0,970	1,250	0,940
1,990	0,9998	1,740	0,9894	1,490	0,9690	1,240	0,9386
1,980	0,9996	1,730	0,9888	1,480	0,9680	1,230	0,9372
1,970	0,9993	1,720	0,9881	1,470	0,9669	1,220	0,9357
1,960	0,9991	1,710	0,9875	1,460	0,9659	1,210	0,9343
1,950	0,9988	1,700	0,9868	1,450	0,9648	1,200	0,9328
1,940	0,9985	1,690	0,9861	1,440	0,9637	1,190	0,9313
1,930	0,9982	1,680	0,9854	1,430	0,9626	1,180	0,9298
1,920	0,9979	1,670	0,9847	1,420	0,9615	1,170	0,9283
1,910	0,9976	1,660	0,984	1,410	0,9604	1,160	0,9268
1,900	0,9972	1,650	0,9832	1,400	0,9592	1,150	0,9252
1,890	0,9968	1,640	0,9824	1,390	0,9580	1,140	0,9236
1,880	0,9964	1,630	0,9816	1,380	0,9568	1,130	0,9220
1,870	0,9960	1,620	0,9808	1,370	0,9556	1,120	0,9204
1,860	0,9956	1,610	0,9800	1,360	0,9544	1,110	0,9188
1,850	0,9952	1,600	0,9792	1,350	0,9532	1,100	0,9172
1,840	0,9948	1,590	0,9784	1,340	0,9520	1,090	0,9158
1,830	0,9943	1,580	0,9775	1,330	0,9507	1,080	0,9139
1,820	0,9938	1,570	0,9766	1,320	0,9494	1,070	0,9122
1,810	0,9933	1,560	0,9757	1,310	0,9481	1,060	0,9105
1,800	0,9928	1,550	0,9748	1,300	0,9468	1,050	0,9088
1,790	0,9923	1,540	0,9739	1,290	0,9455	1,040	0,9071
1,780	0,9917	1,530	0,9729	1,280	0,9441	1,030	0,9053
1,770	0,9912	1,520	0,9720	1,270	0,9428	1,020	0,9036
1,760	0,9906	1,510	0,9710	1,260	0,9414	1,010	0,9018
						1,000	0,910

Capítulo 2 PRUEBAS EN LABORATORIO.

Las pruebas en laboratorio son de carácter físico, estático y mecánico.

Los resultados de las pruebas de laboratorio dependen del curado de los especímenes, del cabeceo y de las condiciones de humedad así como de la velocidad de aplicación de la carga.

2.1 Curado (NMX-C-148-ONNCCE-2002 “Cementos Hidráulicos-Gabinets y Cuartos Húmedos y Tanques de Almacenamiento para el Curado de Especímenes de Mortero y Concreto de Cementantes Hidráulicos”).

El curado consiste en mantener a los especímenes de concreto a una temperatura promedio de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa mínima de 95 % de humedad, ya sea en un cuarto cerrado (figura 2.1) o en un depósito con agua con temperatura controlada.

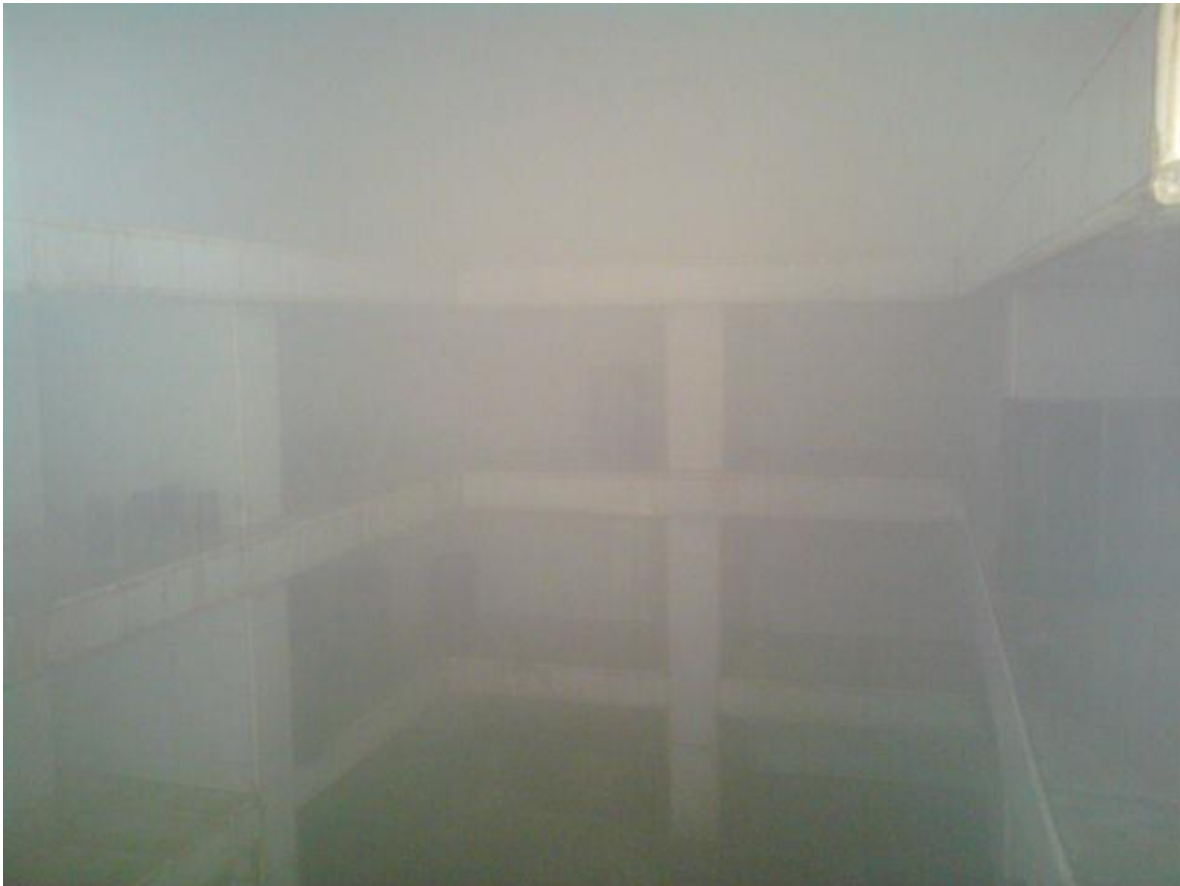


Figura 2.1 Cuarto de curado para especímenes de concreto.

2.2 Cabeceo (NMX-C-109-ONNCCE-2010 “Determinación del Cabeceo de Especímenes”).

El cabeceo (figura 2.2) consiste en colocar azufre a los cilindros de concreto con el propósito de asegurar una carga normal durante el ensaye. Los equipos utilizados deben estar libres de estrías, ranuras o depresiones que puedan afectar el cabeceo por choques térmicos.

El mortero de azufre adquiere su resistencia máxima en un tiempo aproximado de dos horas por lo que el ensaye a la compresión se realiza a las dos horas después del cabeceo, o bien se pueden ensayar en menor tiempo, si se comprueba que el azufre alcanza su resistencia máxima o mayor a la del cilindro de concreto, mientras esto sucede, los cilindros se protegen contra la evaporación utilizando un trapo húmedo.



Figura 2.2 Cabeceo de especímenes de concreto.

Existen otros métodos de cabeceo para poder realizar el ensaye a la compresión como las ruedas de neopreno, el triplay húmedo y maquinado (corte en los extremos del espécimen). Estos métodos aún no están normalizados pero se pueden emplear ocasionalmente por causas importantes.

2.3 Ensaye (NMX-C-083-ONNCCE-2002 “Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto”).

El ensaye (figura 2.3) es un proceso que tiene un procedimiento establecido y normalizado (NMX-C-083-ONNCCE-2002). El ensaye es significativo, confiable, de precisión conocida y económico.

Consiste en aplicar una fuerza con una prensa en un cilindro de concreto en el laboratorio para determinar su resistencia última.



Figura 2.3 Ensayo de especímenes de concreto.

El ensayo de compresión presenta siete diferentes tipos de falla (figura 2.4) por diferentes causas:

El tipo de falla No 1 se tiene cuando la carga de compresión es aplicada correctamente sobre un espécimen cilíndrico bien preparado.

El tipo de falla No 2 se presenta cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de la tolerancia especificada o lo exceden.

El tipo de falla No 3 se origina cuando existe concavidad en el equipo que se utiliza ya sea el plato de cabeceo o la placa de aplicación de carga.

El tipo de falla No 4 se exhibe cuando alguna de las caras del espécimen se encuentra cóncava, cuando el material de cabeceo es deficiente o bien cuando alguno de los equipos que se utilizan presentan deficiencias de concavidad.

El tipo de falla No 5 se produce cuando la superficie de aplicación de carga no es totalmente plana y la carga es puntual en algunas partes, esto ocurre cuando el material de cabeceo es deficiente, los platos cabeceadores se encuentran dañados o bien cuando las placas de aplicación de carga tienen deficiencias.

El tipo de falla No 6 se ocasiona cuando alguna de las caras del espécimen se encuentra convexa, el material de cabeceo es deficiente, el plato cabeceador se encuentra dañado o bien las placas de aplicación de carga tienen deficiencias.

El tipo de falla No 7 se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias del paralelismo o bien cuando hay desviaciones en el centrado para la aplicación de la carga.

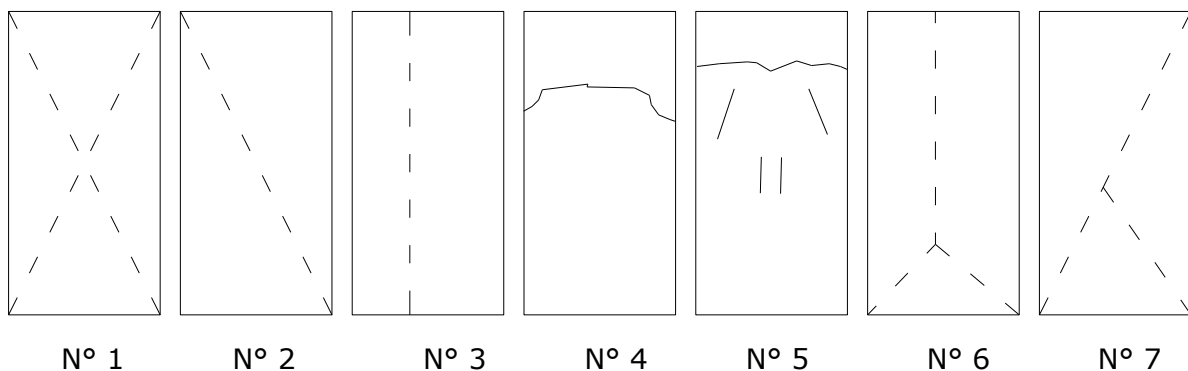


Figura 2.4 Tipos de falla que se pueden presentar en los ensayos a compresión (NMX-C-083-ONNCCE-2002).

Después de ensayar el espécimen se calcula la resistencia a la compresión dividiendo la carga máxima aplicada entre el área promedio de la sección de aplicación obtenida mediante el diámetro promedio.

De los ensayos seleccionados para los fines de este trabajo, se seleccionaron al azar treinta y ocho ensayos a veintiocho días, para registrar el tipo de falla que se presentó, de los cuales únicamente lucieron el tipo uno con treinta y dos repeticiones y el tipo dos con seis repeticiones.

Capítulo 3 DATOS.

Los datos utilizados en este trabajo provienen del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UAEM para un concreto normal a 28 días, de trabajos efectuados en control de calidad durante la construcción del Puente Inferior Vehicular en Av. Ignacio Comonfort esquina Av. Las Torres, en la Ciudad de Toluca, Estado de México (figura 3.1 y figura 3.2).



Figura 3.1 **Carriles de alta velocidad** donde se obtuvieron las muestras de prueba para determinar el control de calidad.

Para el caso del presente trabajo, se tomaron 159 muestras donde se obtuvo el revenimiento, una muestra de 4 especímenes de concreto donde dos de ellos se ensayaron a siete días después de su elaboración y los otros dos a los veintiocho días después de su elaboración los cuales vamos a utilizar para determinar el control de calidad. Las características generales del concreto se presentan en la tabla 3.1.

El número de muestras se estableció por ser el total de las realizadas en la obra registradas en esta institución. Con los datos registrados de los ensayos a compresión, se elaboraron gráficos de control, se analizaron los resultados y se establecieron los parámetros que permitieron tomar un control de calidad efectivo en la obra y poder determinar en un tiempo breve el momento en que se presentara variabilidad en los resultados y así evitar desviaciones que puedan ser perjudiciales y de gran impacto en el funcionamiento de los elementos estructurales.

Tabla 3.1 Características del concreto hidráulico y las pruebas realizadas.

Obra	Puente Inferior Vehicular construido en Av. Las Torres esquina Av. Ignacio Comonfort, en Toluca, Estado de México.
N° de muestras	Ciento cincuenta y nueve (159).
Características del proyecto	Resistencia ($f'c$): 250 kg _f /cm ² , revenimiento: 140 mm, tamaño máximo del agregado: 20 mm, normal a 28 días.
No de especímenes por muestra	Cuatro (4).
Pruebas en estado fresco	Muestreo, revenimiento y elaboración de especímenes cilíndricos.
Pruebas en estado endurecido	Curado, cabeceo y ensaye a compresión.
N° de revenimientos por muestra	1 (uno)
N° de ensayes a compresión por muestra	Dos a siete días y dos a veintiocho días (solo se utilizaron los ensayes a veintiocho días)

Los elementos colados construidos fueron losas de cimentación, muros reprimidos, tabletas, parapetos, encofrados, muros convencionales exteriores e interiores, muro y losa del cárcamo, muros Milán, losa de muro convencional, losa convencional y losa del cuarto de máquinas. Las características del concreto son: revenimiento de 14.0 cm, $f'c$ de 250 kgf/cm² a 28 días de edad, tamaño máximo del agregado de 20 mm, marca de cemento Apasco y el equipo de elaboración fue olla de camión mezclador.

El técnico N° 1, realizó siete veces estas actividades, el técnico N° 2 las ejecuto 137 veces y el técnico N° 3 llevo a cabo estas pruebas solo 15 veces, la afectación del personal durante el desarrollo de las pruebas en campo no es de gran impacto ya que están debidamente capacitados para desempeñar su trabajo y no se realizaron cambios frecuentes de personal durante el desarrollo de la obra.



Figura 3.2 Puente Inferior Vehicular construido vista de entrada.

3.1 Revenimiento.

En la tabla 3.2 se clasificaron trece intervalos con rango de cinco milímetros donde se determinó el punto medio para cada uno de ellos y la frecuencia de los registros que se tienen para la prueba de revenimiento del concreto hidráulico del PIV (Puente Inferior Vehicular), todo esto basado en procedimientos de aplicación para elaboración de gráficos de control.

Son tres técnicos los que participaron en la realización de las pruebas en campo, las actividades que realizó cada una de ellos son: muestreo, revenimiento y elaboración de especímenes de concreto.

Se presenta un histograma de las frecuencias (figura 3.3) para la prueba de revenimiento, donde se refleja la curva normal correspondiente.

Tabla 3.2 Distribución de frecuencias de 159 mediciones de revenimiento de concreto hidráulico fresco.

INTERVALO DE CLASE (mm)	MARCA DE CLASE (mm)	FRECUENCIA
117,5 - 122,5	120	3
122,5 - 127,5	125	1
127,5 - 132,5	130	4
132,5 - 137,5	135	6
137,5 - 142,5	140	23
142,5 - 147,5	145	19
147,5 - 152,5	150	34
152,5 - 157,5	155	15
157,5 - 162,5	160	13
162,5 - 167,5	165	12
167,5 - 172,5	170	23
172,5 - 177,5	175	5
177,5 - 182,5	180	1
TOTAL		159

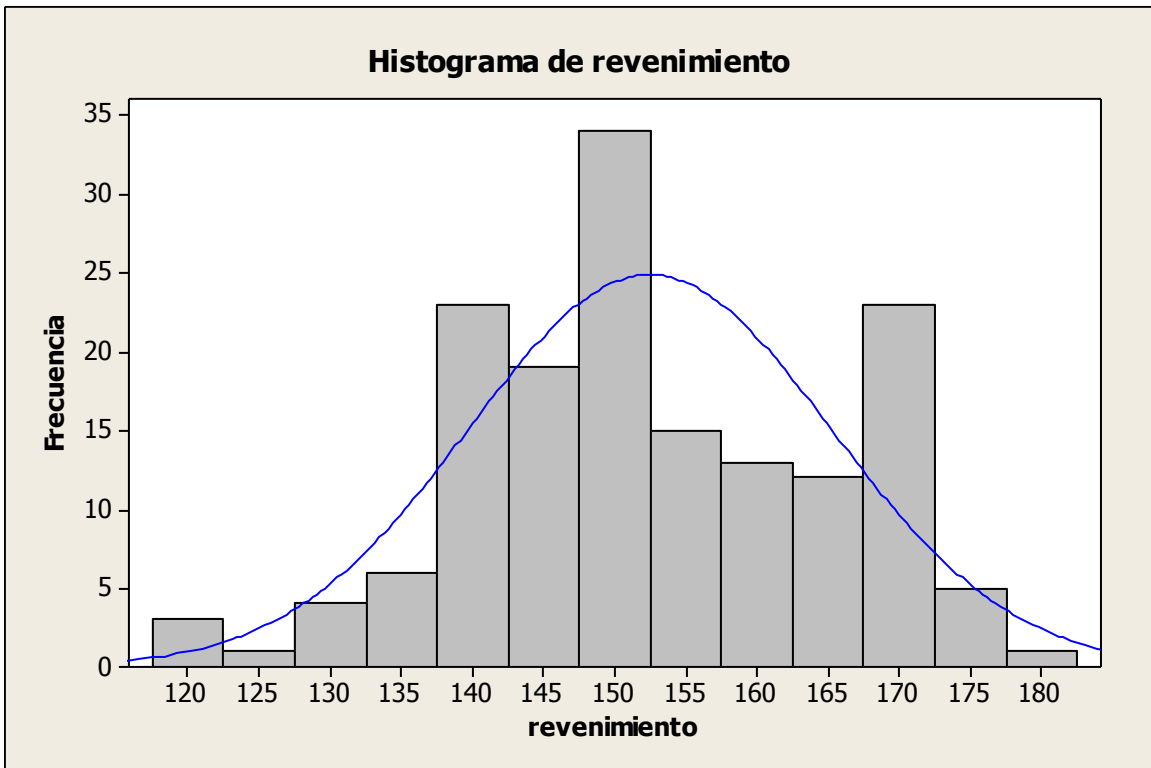


Figura 3.3 Histograma de los revenimientos del concreto hidráulico fresco.

3.2 Resistencia.

La tabla 3.3 contiene la frecuencia de los registros del promedio de dos ensayos a 28 días de las muestras tomadas en el Puente Inferior Vehicular (PIV).

Se presenta un histograma de las frecuencias (figura 3.4) con el promedio de dos ensayos en la prueba de compresión, donde se refleja la curva normal correspondiente.

Tabla 3.3 Distribución de frecuencias de 159 promedios de resistencia de concreto hidráulico.

INTERVALO DE CLASE (kgf/cm²)	MARCA DE CLASE (kgf/cm²)	FRECUENCIAS
212,5 - 217,5	215	3
217,5 - 222,5	220	1
222,5 - 227,5	225	1
227,5 - 232,5	230	1
232,5 - 237,5	235	3
237,5 - 242,5	240	5
242,5 - 247,5	245	2
247,5 - 252,5	250	8
252,5 - 257,5	255	18
257,5 - 262,5	260	48
262,5 - 267,5	265	17
267,5 - 272,5	270	19
272,5 - 277,5	275	23
277,5 - 282,5	280	9
282,5 - 287,5	285	0
287,5 - 292,5	290	0
292,5 - 297,5	295	1
TOTAL		159

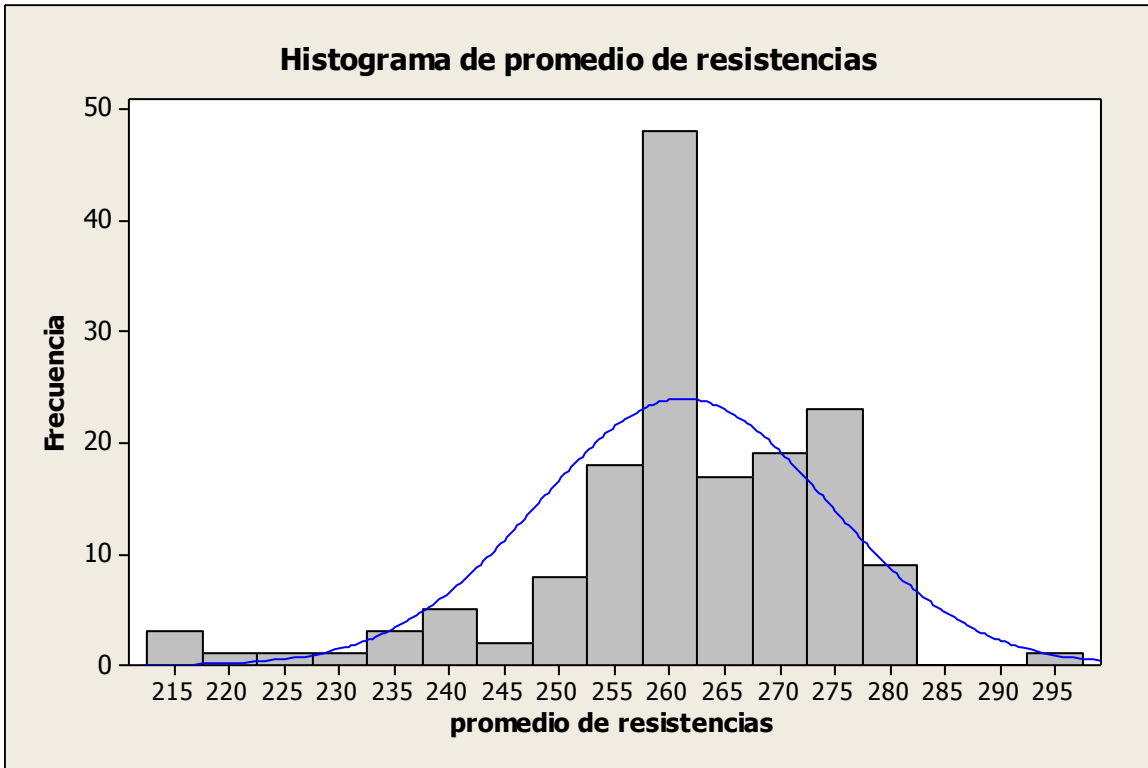


Figura 3.4 Histograma del promedio de dos ensayos a compresión en cilindros de concreto a 28 días.

Capítulo 4 RESULTADOS.

Los gráficos de control son gráficos que se utilizan para la representación y análisis de los resultados que proporcionan testimonio visual de que un proceso está bajo control o fuera de control.

A continuación se presentan gráficos correspondientes a los datos presentados en el capítulo anterior.

4.1 Revenimiento.

Se incluyen dos gráficas de control de variables de acuerdo a los datos de revenimiento registrados, la primera es la gráfica de mediciones individuales (figura 4.1) y la segunda es la gráfica de tendencia central o gráfica de la mediana (figura 4.2).

La gráfica de mediciones individuales o grafica “x” o gráfica de rango móvil (figura 4.1), se utiliza porque se tiene una sola medición de revenimiento por muestra.

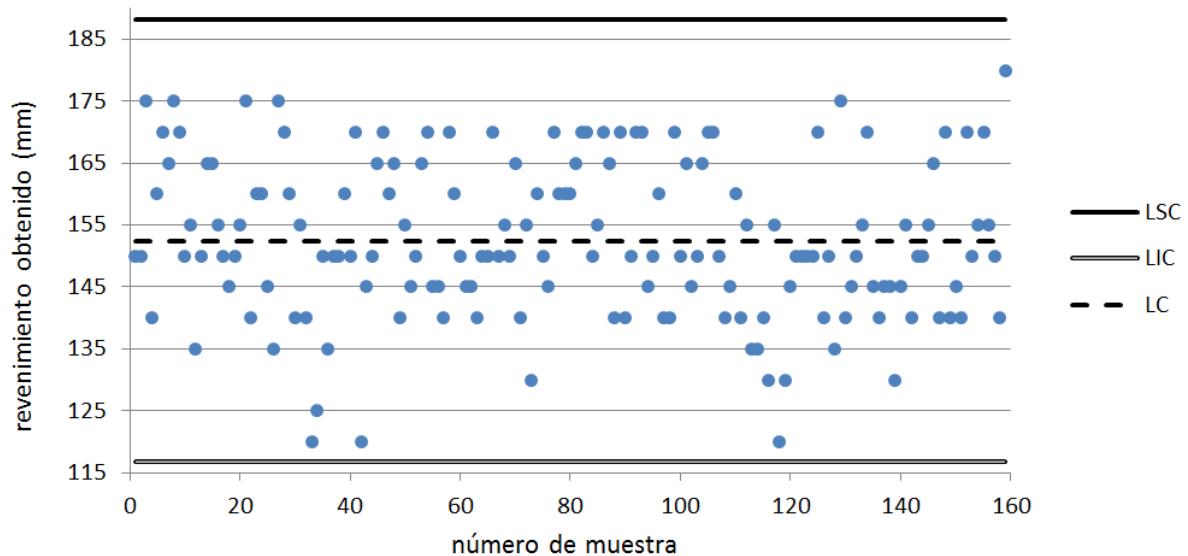


Figura 4.1 Gráfica de mediciones individuales x para revenimiento.

La línea central de esta gráfica es el promedio de los revenimientos obtenidos en la obra, los intervalos se basan en el principio común estadístico siguiente:

$$LCCx = \mu \quad (1)$$

$$LSCx = \mu + 3\rho \quad (2)$$

$$LICx = \mu - 3\rho \quad (3)$$

Donde

$LCCx$ es la Línea Central de Control.

$LSCx$ es la Límite Superior de Control.

$LICx$ es el Límite Inferior de Control.

μ es el promedio de los revenimientos.

ρ es la desviación estándar.

Siguiendo este procedimiento el valor de la línea central (LC) es 152.5 mm, el Límite Superior de Control (LSC) es 188.1 mm y el Límite Inferior de Control (LIC) es 116.8 mm, en esta gráfica ninguno de los registros que se tienen están fuera de los límites de control.

La gráfica de la mediana con rango promedio o gráfica de la tendencia central con rango promedio (figura 4.2), se utilizó formando 15 grupos de 10 registros y uno de 9, con los 159 que se tienen; se obtiene la mediana y el rango de cada conjunto para posteriormente determinar la línea central y los límites de control.

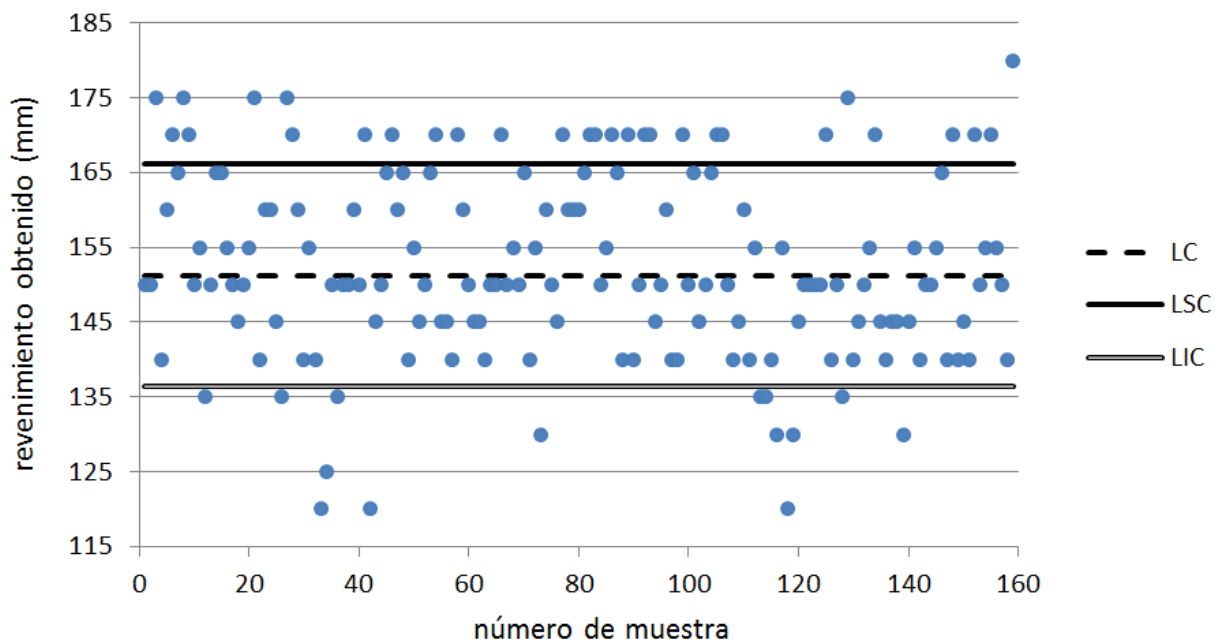


Figura 4.2 Gráfica de la mediana para registros de revenimiento.

La línea central de esta gráfica es la mediana de las medianas de cada grupo que se formó, los límites de control son:

$$LCC = x \quad (4)$$

$$LSC = x + A_7R \quad (5)$$

$$LIC = x - A_7R \quad (6)$$

Donde

LCC es la Línea Central de Control.

LSC es la Límite Superior de Control.

LIC es el Límite Inferior de Control.

x es la mediana de la mediana de cada grupo.

A₇ es una función del tamaño de la muestra (*n*) y está tabulada en el apéndice de la tabla G (Wadsworth, 2005).

R es el promedio de los rangos de los grupos.

Los valores son, para la línea central 151.3 mm, el límite superior de control (LSC) es 166.2 mm y el límite inferior de control (LIC) es 136.3 mm. De los 159 valores registrados 14 son menores a LIC, 29 son mayores al LSC y 116 se ubican dentro de los límites de control.

4.2 Resistencia.

Se presentan los resultados del promedio de dos ensayos de resistencia a compresión a veintiocho días, de las muestras tomadas en el PIV siguiendo el procedimiento de la Norma NMX – C – 083 – ONNCCE – 2002 “INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – CONCRETO – DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO – METODO DE PRUEBA”.

Se presentan tres gráficas de control, empleando procedimientos diferentes, su aplicación es para grupos de dos resultados. Estos procedimientos son: gráfica de promedio (figura 4.3), gráfica de rangos (figura 4.4) y gráfica de desviación estándar (figura 4.5).

En la gráfica de promedio (figura 4.3) se calcula el promedio de las resistencias que se tienen en cada grupo y a su vez se calcula el promedio de estos, para utilizar este valor como la línea central, los límites de control son:

$$LCCx = x_0 \quad (7)$$

$$LSCx = x_0 + A\rho_0 \quad (8)$$

$$LICx = x_0 - A\rho_0 \quad (9)$$

Donde

$LCCx$ es la Línea Central de Control.

$LSCx$ es la Límite Superior de Control.

$LICx$ es el Límite Inferior de Control.

x_0 es el promedio de las resistencias.

A es una función del tamaño de la muestra (n) y está tabulada en el apéndice de la tabla G (Wadsworth, 2005).

ρ_0 es la desviación estándar.

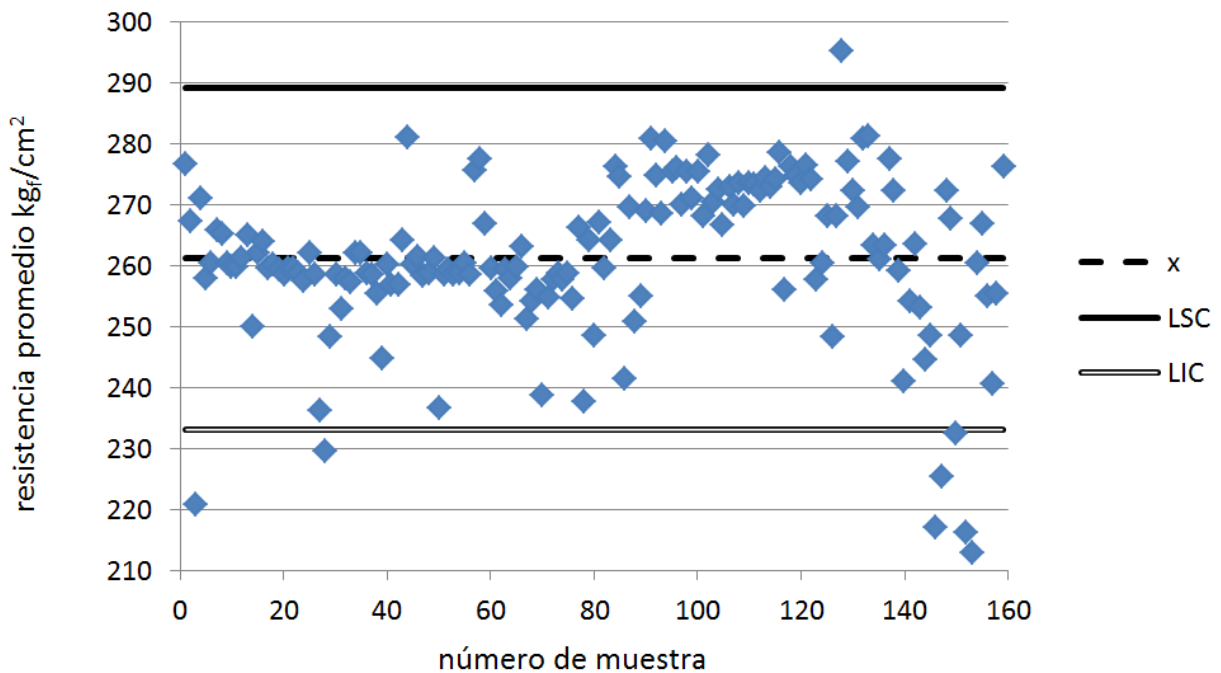


Figura 4.3 Gráfica de promedio para datos de resistencia.

Los valores correspondientes son: para la línea central 261.23 kg/cm^2 , el límite superior de control es 289.26 kg/cm^2 y el límite inferior de control es 233.20 kg/cm^2 , la gráfica se presenta de la siguiente manera.

La gráfica de rango (figura 4.4) es la más común para medir la dispersión en la distribución subyacente de la calidad por la facilidad de elaboración e interpretación. Los límites de control son:

$$LCC_R = d_2\rho_0 \quad (10)$$

$$LSC_R = D_2\rho_0 \quad (11)$$

$$LIC_R = D_1\rho_0 \quad (12)$$

Donde

LCC_R es la Línea Central de Control.

LSC_R es el Límite Superior de Control.

LIC_R es el Límite Inferior de Control.

d_2 es un factor que se presenta en función de la muestra (n) y esta tabulado en la tabla H del apéndice (Wadsworth, 2005)

D_1 y D_2 son factores que se presentan en función del tamaño de la muestra (n) y están tabulados en la tabla H del apéndice (Wadsworth, 2005).

ρ_0 es la desviación estándar del rango que hay en los dos ensayos realizados.

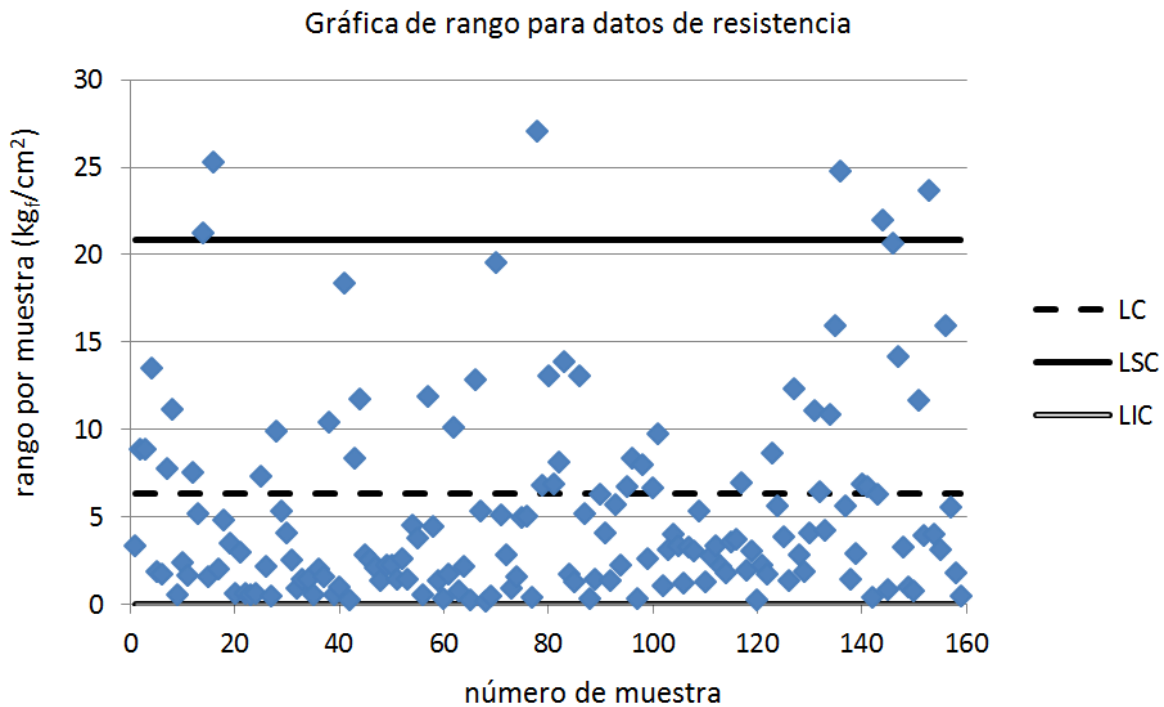


Figura 4.4 Gráfica de rango para datos de resistencia.

La gráfica de desviación estándar (figura 4.5) se realiza con base a los procedimientos establecidos, primero obtenemos la desviación estándar de los dos registros de resistencia que se tienen, después obtenemos el promedio de las desviaciones de todas las muestras. Los límites de control correspondientes son:

$$LCC_s = c_4\rho_0 \quad (13)$$

$$LSC_s = B_6\rho_0 \quad (14)$$

$$LIC_s = B_5\rho_0 \quad (15)$$

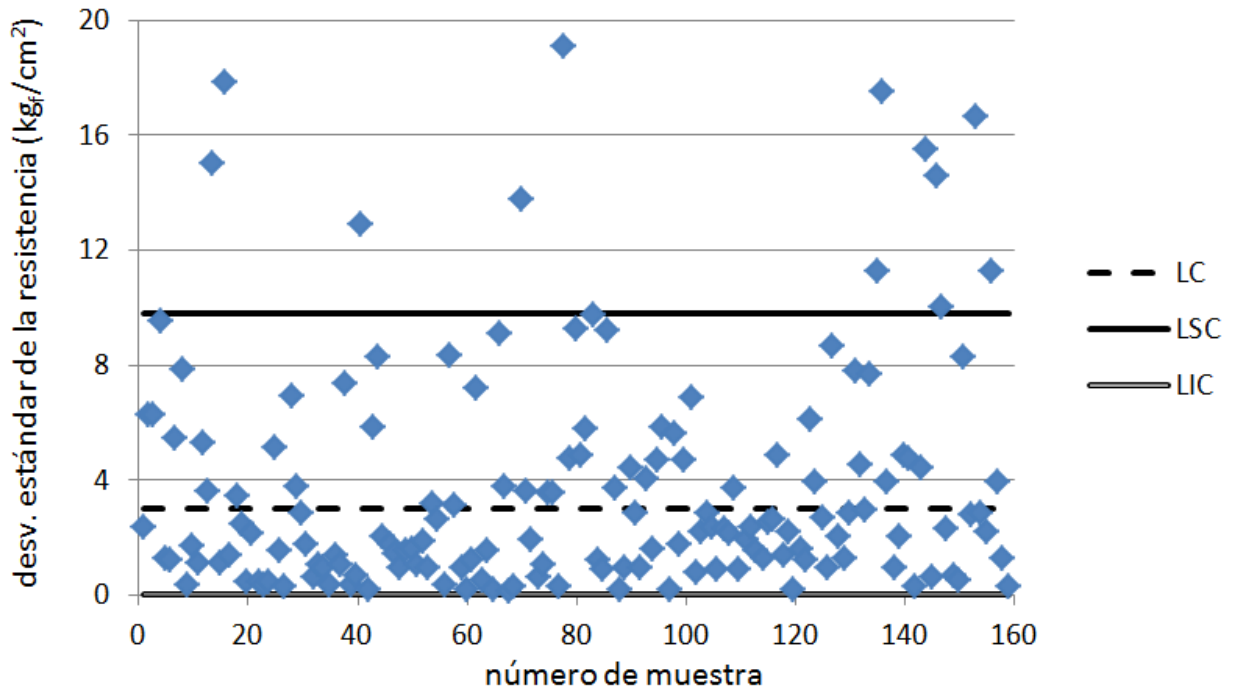


Figura 4.5 Gráfica de desviación estándar para datos de resistencia.

Donde

LCC_s es la Línea Central de Control.

c_4 es un factor que se presenta en función del tamaño de la muestra (n) y esta tabulado en la tabla H del apéndice (Wadsworth, 2005).

LSC_s es el Límite Superior de Control.

LIC_s es el Límite Inferior de Control.

B_6 y B_5 son factores que se presentan en función del tamaño de la muestra (n) y están tabulados en la tabla H del apéndice (Wadsworth, 2005).

ρ_0 es el promedio de las desviaciones estándar que hay en los dos ensayos de cada muestra.

Los valores obtenidos para graficar los límites de control son; para la línea central 2.99, para el límite superior de control es 9.79 y para el límite inferior de control es 0.00.

4.3 Media, varianza y desviación estándar.

a) Media

Revenimiento

Para los registros de revenimiento la media que se tiene es de 152.45 mm, y este valor se utiliza como línea central en la gráfica de mediciones individuales.

Resistencia

Para los registros de resistencia la media que se tiene es de 261.23 kg/cm², y este valor se utiliza como línea central en la gráfica de promedio.

b) Varianza

Revenimiento

Para los registros que se tienen de revenimiento la varianza que presenta la muestra es de 162.62 mm².

Resistencia

Para los registros que se tienen de resistencia se tiene una varianza en la muestra de 174.64 (kg/cm²)².

c) Desviación Estándar

Revenimiento

La desviación estándar que presenta la muestra para los 159 registros que se tienen es de 12.75 mm.

Resistencia

La desviación estándar que presenta la muestra para los promedios de los 159 registros que se tienen es de 13.22 kg/cm².

Capítulo 5 ANALISIS DE RESULTADOS.

A continuación se analiza cada una de las gráficas para posteriormente determinar si se encuentran en estado de control.

Las gráficas de los valores registrados se seleccionaron de acuerdo a los procedimientos que se utilizan, para los revenimientos contamos únicamente con un valor asignado por muestra (gráfica de mediciones individuales y gráfica de la mediana), para los valores de resistencia se tienen dos registros por muestra (gráfica de promedio, gráfica de rango y gráfica de desviación estándar) formando grupos de dos valores.

Al revisar los límites de control *en la gráfica de mediciones individuales* (figura 4.1), se observa que no se encuentran puntos fuera de control, todos los valores que se registraron están dentro de los parámetros establecidos, por lo que interpretamos que se encuentra en estado de control. La primera acción que se debe realizar es mantener el proceso bajo este estándar, para incrementar la mejora, es necesario evaluar la eficacia de esta gráfica periódicamente para eliminar cualquier resultado inapropiado. En esta gráfica se encuentran 90 registros con valor menor a la línea central y 69 con valor superior, lo que indica que no es simétrica y el siguiente paso es evaluar las actividades para incrementar la sensibilidad en la calidad del concreto hidráulico.

Para la gráfica de la mediana (figura 4.2) se utilizan límites de control con menor variabilidad, y al plasmar los resultados observamos que la dispersión se presenta con incertidumbre superior a los límites establecidos identificando cuatro cambios bruscos, por los registros que se tienen y comparando el rango de los límites, se define amplia eficiencia en el uso de esta gráfica. Este procedimiento presenta una desventaja de menor eficiencia cuando incrementa el número de registros.

La gráfica *de promedio* (figura 4.3) es la más común para detectar cambios con su fácil desarrollo y por la sensibilidad que presenta en el proceso de los valores registrados, esta gráfica toma como línea central el promedio de los promedios de cada grupo y la variabilidad que presenta indica cambios continuos en los resultados que van desde el límite inferior hasta el límite superior de control, se encuentran ocho valores fuera de los límites establecidos, se puede apreciar una dispersión aproximada dividida en tres secciones, la primera se encuentra aproximada a la línea central, la segunda por encima de esta aunque con menor dispersión entre cada registro y la tercera es una dispersión inconforme que indica mayor variación en los resultados abarcando la mayor parte del rango de los parámetros establecidos y con cinco registros fuera de los límites.

En la *gráfica de rango* (figura 4.4) se exponen los resultados del rango que se presenta en los grupos de dos mediciones de resistencia, tomando como línea central la desviación estándar de los rangos, afectada por un factor cercano a uno que depende del número de elementos que tienen los grupos. Esta gráfica presenta eficiencia al estimar la dispersión de resultados. Los valores que se tienen, presentan agrupación cerca de rango cero, donde la variabilidad exhibe tres alteraciones que resaltan al inicio, al centro y al final de la gráfica con elementos fuera del límite superior de control. En esta gráfica no se tienen valores menores que cero por su tipo, los límites de control se pueden utilizar para muestras posteriores. El principal ajuste que se ha de realizar es mover los rangos cerca de la línea central de control.

La *gráfica de la desviación estándar* (figura 4.5) presenta un incremento de valores fuera del límite superior de control (doce registros), comparándola con la gráfica de rangos, con esto se concluye que no hay control de calidad en el concreto hidráulico, y es necesario revisar que los procedimientos y actividades que se estén realizando adecuadamente, verificar que los operadores y técnicos cuentan con la capacidad y conocimientos necesarios para elaborar y supervisar las actividades correspondientes. Finalmente es necesario revisar el proceso día a día elaborando revenimientos continuos y cuatro especímenes cada cuarenta metros cúbicos, graficando los resultados para revisar que se mejora y/o mantiene el estado de control.

En las gráficas de control el supuesto es considerar el comportamiento normal de los resultados, que al llevar un control a diario se puede obtener el cumplimiento del comportamiento normal.

5.1 Precauciones para evitar errores.

Las consideraciones que se incluyen son para mejorar el proceso y definir las actividades que se tienen que realizar independientemente si son graficas de revenimiento o resistencia. Estas graficas indican cuando el proceso necesita mayor atención para mejorar su ejecución.

El primer punto para tener un buen control de calidad es que el diseño del proceso sea efectivo y congruente para cumplir con tiempos y costos. Cuando se cumple con estas consideraciones se puede identificar de inmediato cuando alguna área que es parte del proceso requiere de mejoramiento y un control riguroso de las actividades que se están realizando.

Para controlar la existencia de errores es necesario que el proceso cumpla con lo que especifican las actividades marcadas en el diseño y/o normatividad aplicable.

Para prevenir los errores aumentando el control y mejorando el proceso, se pueden utilizar diferentes métodos; la función triple, los cinco porqués, autocontrol y fallas especiales o comunes. Con el uso de estos métodos podemos identificar problemas en las actividades y soluciones para controlar el proceso.

El método de la *función triple* consiste en identificar quien produce, quien procesa y quien compra. El proveedor quien es el que vende el concreto hidráulico debe analizar las necesidades de su cliente que es de quien depende la transformación que pueda sufrir el producto y al que se considera procesador, finalmente el cliente es quien realiza el insumo y debe ser analizado por el procesador para satisfacer su necesidad.

Este es el mejor modelo para visualizar y comprender la operación el control y el mejoramiento del proceso durante las actividades. Consiste en los siguientes pasos:

Insumos → Transformaciones → Productos

Donde el proceso se caracteriza por los insumos medibles, la transformación de valor agregado y los productos medibles con las actividades repetibles, definibles y predecibles. Es necesario realizar subdivisiones del proceso para poder detectar con facilidad las variaciones que se presenten, y mientras estas actividades se realicen con mayor frecuencia es benéfico para la calidad del concreto que se está realizando. La mejor técnica para cumplir con el control de calidad durante la elaboración del concreto hidráulico es prevenir antes que detectar y corregir.

Un método sencillo y de utilidad es el de los *cinco porqués*, de esta manera se puede prevenir la variabilidad, detectando la causa raíz que se puede presentar en el descontrol de las actividades que se están realizando. Este método se usa generalmente cuando ya se tiene antecedentes de elaboración donde se presentan diferencias en la producción del concreto hidráulico. La técnica es encontrar la causa raíz de cinco defectos que se han presentado durante el proceso anterior, con lo que se tendrá mejor calidad para la elaboración del concreto hidráulico del siguiente día y así prevenir errores y no corrección de ellos.

El *autocontrol* es un método efectivo para cumplir con la calidad del concreto hidráulico que se surte y ofrece al cliente. Consiste en crear un estado de autocontrol para cada empleado y operador a quienes se debe capacitar para que sigan los siguientes criterios:

1. Tener conocimiento de lo que se supone deben hacer.
2. Poseer conocimiento de lo que están haciendo.

3. Conocer los medios para regular y ajustar la producción de regreso a la calidad total cuando no se tenga el pleno conocimiento de lo que se está realizando.
4. Ostentar un estado mental de modo que utilicen sus instalaciones y habilidades para cumplir con las normas establecidas en el proceso.

La ventaja de este método es que se puede utilizar para establecer y verificar si se tiene un control total de calidad en el proceso de actividades.

Cuando se aplica este método es necesario verificar que se establezca el autocontrol en todas las áreas y operaciones, que los operadores y empleados sean documentados con las actividades que tienen que realizar y que estas sean comunicadas a todos ellos. Es necesario establecer medios para regular el proceso y establecer una actitud positiva por medio de motivación, habilitación y liderazgo.

Las *fallas o causas especiales o comunes* son un método más para cumplir con el control en la calidad de producción del concreto hidráulico, el cual se basa en fallas del sistema donde los empleados y operadores no influyen en el mal funcionamiento que se presente, sin embargo no se descarta la posibilidad de su intervención para detener el control de calidad, por lo que se pueden considerar dos causa raíz en los problemas de calidad que ocurran y son: causas especiales y causas comunes.

Las causas especiales o esporádicas se relacionan con la falla del individuo para desempeñarse como se requiere en la parte del proceso de elaboración del concreto hidráulico que le corresponde y pueden ser provocadas por inconsistencias en el proceso, maquinas, materiales y métodos o procedimientos. Las causas comunes o crónicas son las que se pueden presentar en el sistema de operaciones, en el diseño del concreto (dosificación), la instalación de maquinaria, instrucciones o las especificaciones designadas.

Algunas de las estrategias que se pueden considerar para el control de calidad en la elaboración del concreto hidráulico y mantener una variación reducida para la satisfacción de los clientes son: eliminar o disminuir las causas especiales y comunes produciendo un cambio de mejora en el proceso.

Es conveniente que estén monitoreando continuamente los procesos de elaboración y operación con los gráficos de control. Estos gráficos deben ser elegidos dependiendo de la importancia que tenga la obra, es decir que si el impacto funcional en la sociedad es pequeño podemos utilizar gráficas con un rango amplio como es la de mediciones individuales o la de promedio para grupos de resultados, en cambio si el impacto funcional dentro de la sociedad es de grado mayor podemos utilizar la gráfica de la mediana o la gráfica de desviación estándar para datos agrupados

A continuación se presenta un diagrama aplicable para el control de la calidad.

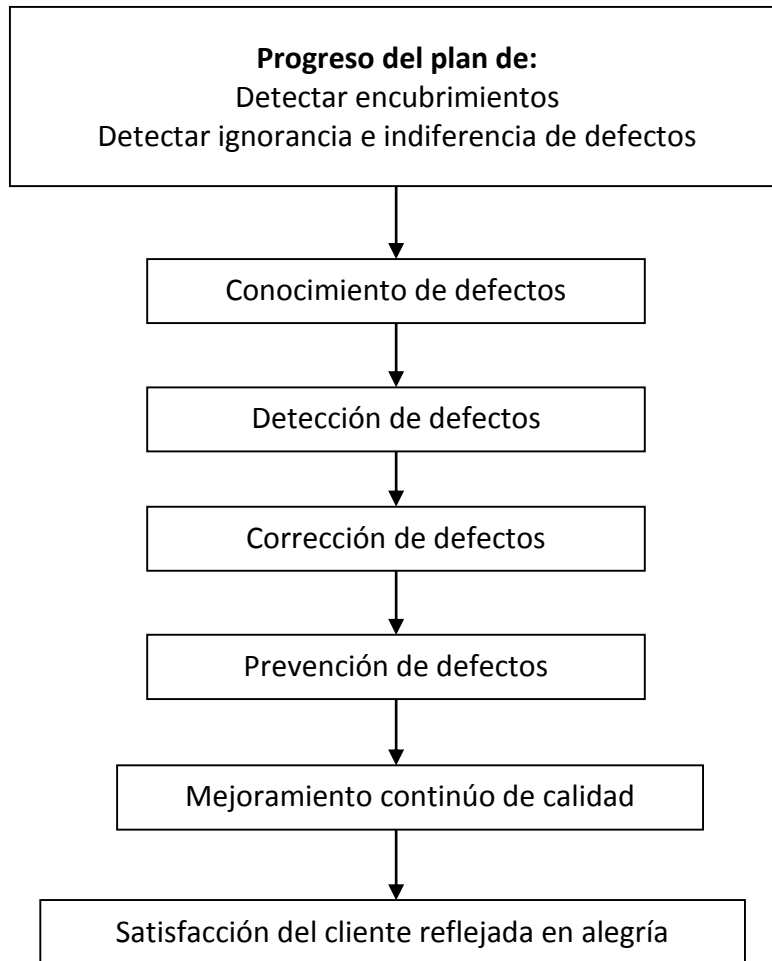


Figura 5.1 Diagrama para control de calidad (Wadsworth, 2005).

De las técnicas aprobadas para prevenir la ausencia del control de calidad, la más importante es enseñar a los operadores la importancia de las características de la calidad. Algunos de los beneficios que se tienen cuando se lleva el control de la calidad o calidad total estratégica del concreto hidráulico son:

- Al mejorar la calidad del concreto hidráulico y del servicio se cumple con las necesidades del cliente.
- Se incrementa la producción del concreto por la atracción de los clientes.
- Se reducen los costos de manufactura fabricación y servicio.
- Es determinante y se mejora la factibilidad de mercadeo del concreto elaborado y el servicio prestado.
- El cliente obtiene un producto de calidad y económico.
- Se aseguran las entregas en tiempo y forma.

- Se cumple con la disponibilidad administrativa interna del proveedor.

La capacitación del control de calidad es una disciplina indispensable para la elaboración del concreto hidráulico.

Existen diferentes sistemas para el control de la calidad, donde es indispensable conocer las siguientes definiciones:

Sistema de calidad: Son planes colectivos, actividades y acontecimientos que están previstos para asegurar que la producción del concreto satisface las necesidades requeridas.

Sistema de administración de la calidad: Es un sistema administrativo que dirige y controla la organización de la calidad.

Administración de calidad: Son actividades ordenadas sistemáticamente para dirigir y controlar la organización de la calidad del concreto hidráulico, incluyendo la política, objetivos y planeación de la calidad para mejorar, asegurar y mantener el control de la calidad.

Administración total de la calidad: Es el proceso de elaboración que integra la técnica y el arte de la administración fundamental con los principios y métodos estratégicos creando estrategias exitosas para la producción del concreto hidráulico.

Cuando se cumple con el sistema de administración y la administración de la calidad se tiene como resultado un control de calidad total que conlleva a una satisfacción del cliente y del proveedor manteniendo y ampliando el ámbito laboral dentro del campo de la construcción.

5.2 Criterios de aceptación o rechazo.

Es necesario mencionar que diferentes investigadores han demostrado que para muchas aplicaciones y tamaños de muestra, los límites de control con 3 veces la desviación estándar (ρ), presentan mayor optimización produciendo resultados de menor variabilidad. Algunas observaciones que se tienen que considerar cuando se utilicen las gráficas de control basadas en las evaluaciones realizadas son:

Es importante detectar los cambios pequeños en el universo, por lo que la muestra debe ser mínimo de cuatro especímenes.

Cuando el costo, esfuerzo y tiempo para verificar que la elaboración del concreto no ha sufrido cambios o son pequeños, se puede justificar un riesgo mayor, usando un múltiplo de la desviación estándar menor que tres y mayor que dos para los límites de control.

Cuando el costo esfuerzo y tiempo son altos se puede justificar un múltiplo mayor de sigma.

Si el costo de tomar muestras de concreto hidráulico para la medición de la calidad total es alto, se puede disminuir el número de muestras a una frecuencia más pequeña, dependiendo de los cambios que se presenten durante las evaluaciones en la elaboración del concreto hidráulico.

Es indispensable que cuando se inicie la evaluación de control de calidad en la producción del concreto hidráulico, se realice una revisión a toda la producción del concreto elaborado para aseguramiento de la calidad. Después de tener el control total de la calidad, se puede ampliar el rango de supervisión, siempre y cuando se estén presentando datos aprobatorios en las revisiones.

Un criterio para aceptación del concreto hidráulico es que los registros de calidad que se tienen, muestren un control estable y un registro de las desviaciones presentadas, definiendo la causa raíz, el tiempo de detección-corrección, la solución y el aseguramiento de que no se vuelva a presentar durante la producción. Para esto se debe contar con procedimientos establecidos basados en las experiencias mostradas durante la producción formando una guía de recuperación en el control de la calidad.

Otro criterio de aceptación es que no exista variabilidad de la producción respecto a las dosificación, esto es posible inspeccionando el funcionamiento estructural de algún elemento donde se utilizó el concreto y comparando el registro con lo que el diseñador originalmente estableció en su proyecto, para detectar si existe o no, variación en los resultados.

Existen diferentes factores que influyen cuando se presenta variabilidad entre la dosificación y la producción, uno de los más importantes es la tasa de falla durante la obra, donde se presenta muy elevada las primeras semanas de trabajo, baja después durante el desarrollo de la obra y aumenta lentamente cuando está por finalizar la obra (figura 5.2).

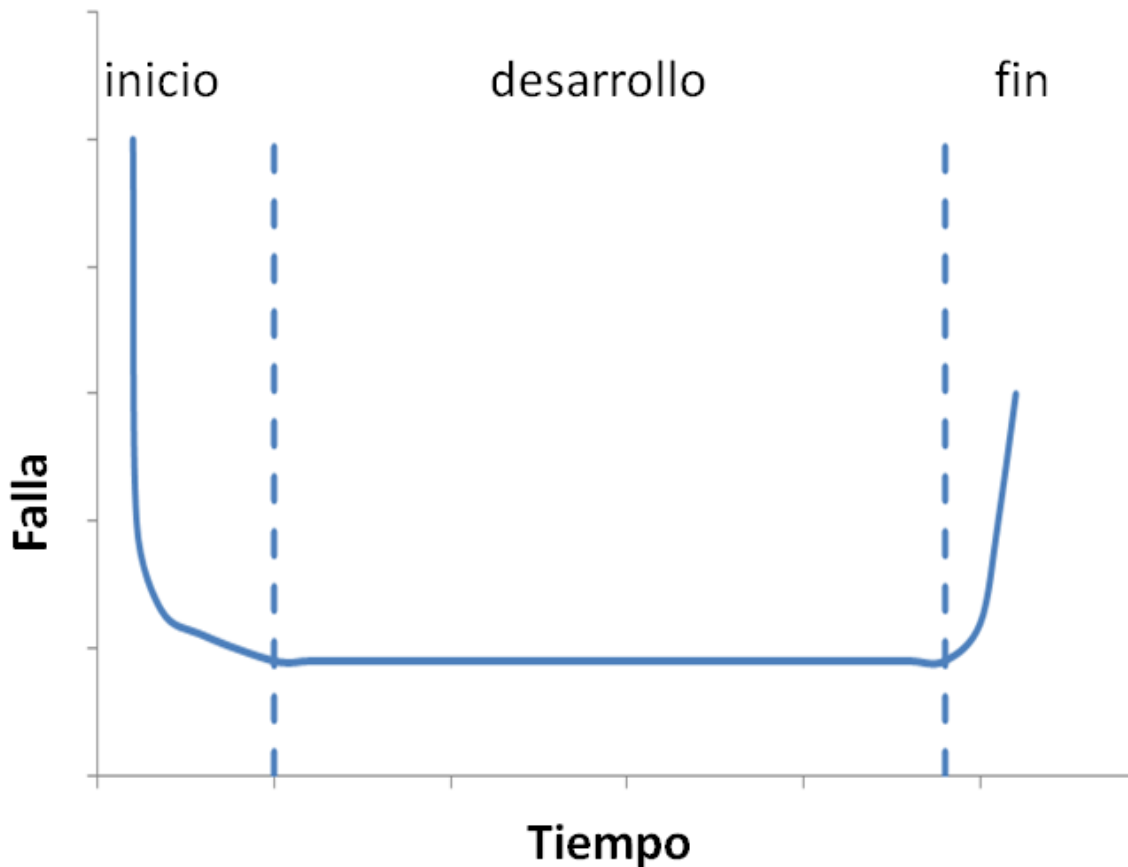


Figura 5.2 Gráfica de falla durante el desarrollo de una obra.

Un factor más, se presenta con el tiempo de funcionalidad de la maquinaria (figura 5.3), cuando esta ya tiene bastantes años realizando las actividades se tiene que reemplazar por maquinaria nueva ya que por antigüedad las piezas que la conforman se desgastan, presentándose un momento donde el mantenimiento será muy costoso y recibiendo una garantía mínima en el buen funcionamiento. Esta etapa de la maquinaria se gráfica y es una falla creciente.

Los clientes o compradores del concreto hidráulico, usan estas predicciones de confiabilidad para verificar que el ciclo de duración de su producto sea lo suficientemente competente y cumplan sus objetivos de desempeño.

Existen predicciones de confiabilidad que pueden ser útiles para la aceptación o rechazo del concreto hidráulico, entre las más importantes se encuentra "El Bellcore Technical Advisory" donde se describe un método donde se usa un multiplicador de la tasa de falla durante el primer año de vida (8 760 horas) y luego se usa una tasa constante de falla para el desempeño en estado estable. Otro método utiliza los modelos de "Weibul" para las

primeras 10 000 horas continuando con el modelo exponencial para la confiabilidad en estado estable.

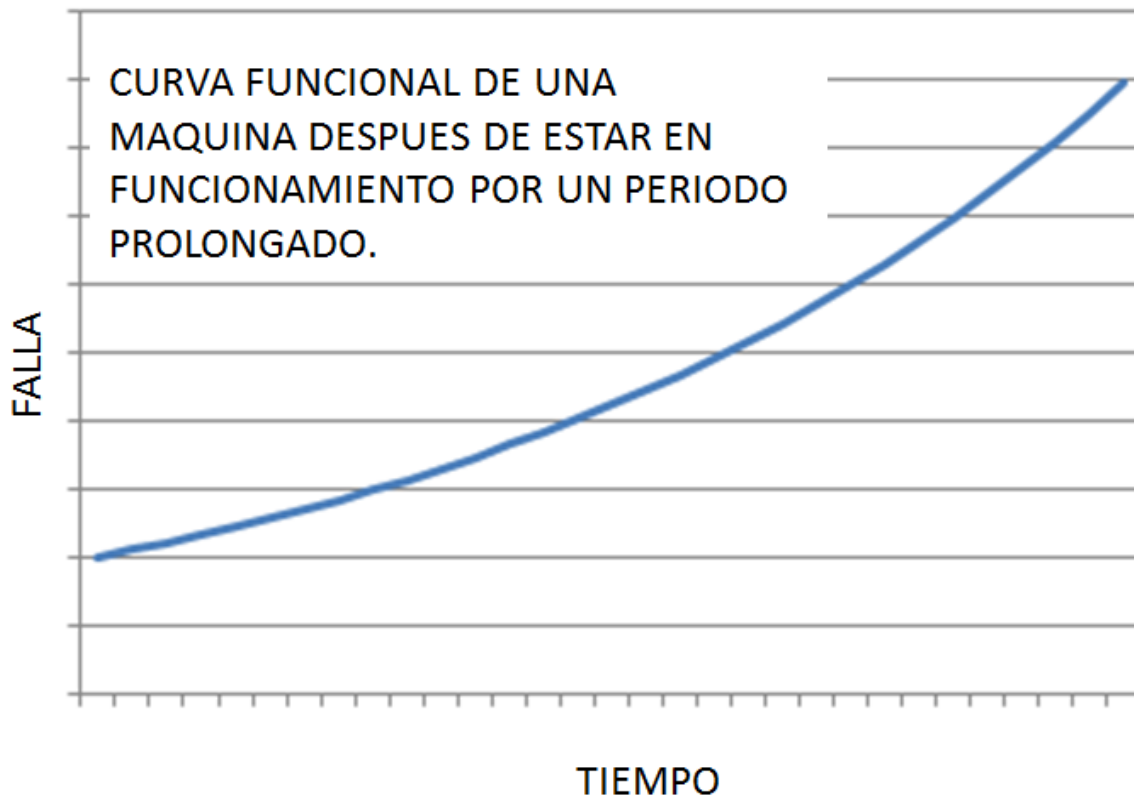


Figura 5.3 Gráfica de falla de maquinaria después de mucho tiempo en funcionamiento.

A continuación se enlistan algunas ventajas que se tienen al utilizar gráficas de control para llevar a cabo el control de calidad:

- Se tiene un proceso estable y predecible.
- Cuando existen causas especiales y el proceso está fuera de control, son las gráficas de control las que detectan la existencia de estas causas en el momento que se presentan, lo que permite tomar acciones inmediatas.
- Es una herramienta simple y efectiva para el control de calidad.
- Se puede contar con niveles consistentes de calidad y contar con costos estables para lograr el nivel de calidad establecido.
- Una vez que el proceso de producción se tiene bajo control, se puede mejorar la calidad reduciendo la variación.

- Al distinguir entre las causas especiales y las causas asignables de variación, es fácil predecir cuándo una situación debe ser corregida localmente y cuando se requiere de una acción más colectiva.
- La capacidad para diferenciar las causas asignables de las no asignables, permitiendo un mejoramiento continuo con el análisis cronológico de gráficas.
- Proporcionan una utilización máxima de la información disponible de resultados.
- Son fáciles de interpretar.

Algunas desventajas de utilizar gráficos de control son:

- Es necesario elaborar gráficas de control individuales para cada prueba que se desempeñe.
- Al controlar la prueba ejecutada no se garantiza la correcta funcionalidad de los equipos utilizados.
- Si no se define bien la información necesaria que debe ser controlada, se tendrán interpretaciones erróneas debido a informaciones incompletas.
- Son difíciles de interpretar cuando no se tiene pleno conocimiento de su uso.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta los resultados y la eficiencia de las gráficas presentadas se concluye el logro del objetivo de este trabajo.

Se presenta un diagrama de bloque (figura 5.4) para aplicación en las obras donde utilicen concreto hidráulico para construir los elementos estructurales.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL CONTROL DE CALIDAD POR MEDIO DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA Y REVENIMIENTO.

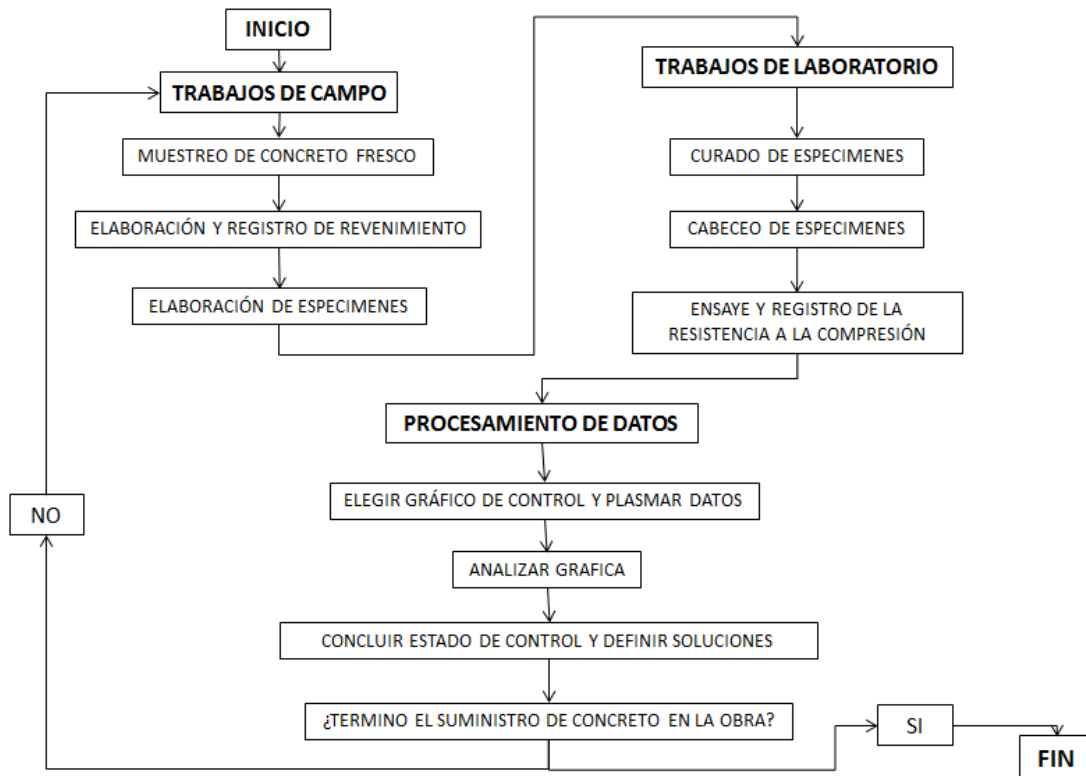


Figura 5.4 Diagrama de bloque para el proceso de calidad.

Para los datos de este trabajo, se presentan conclusiones para cada gráfica de control, especificando la mejora que tuvo que presentar durante los procedimientos de elaboración y supervisión del concreto hidráulico para un control total. Las gráficas que se presentan son optativas para la revisión del control de calidad que se tiene, sin embargo se analiza cada una de ellas revisando el comportamiento de la calidad resultante.

En la gráfica para revenimiento de mediciones individuales el rango de control es amplio, y no se encuentra ningún registro fuera de los límites especificados por lo que se encuentra en estado de control, esta gráfica se puede utilizar para obras pequeñas y de uso común,

más sin embargo se tiene que mejorar ya que se encuentran valores cercanos al límite inferior, la tendencia central que presenta es simétrica pero un poco amplia.

La gráfica de la mediana, que también se utiliza para datos de revenimiento, presenta límites de control reducidos en comparación con la gráfica de mediciones individuales, el 8.8 % se encuentra abajo del límite inferior de control y el 18.2 % son mayores al límite superior de control. La tendencia central que presenta esta inclinada un poco hacia el límite inferior de control con mayor número de registros. Por estos motivos se concluye que la producción se encuentra fuera de control.

De las gráficas para revisar el estado de control por medio de los ensayos a compresión, la gráfica de promedio permite plasmar los resultados del promedio de las resistencias de los ensayos realizados, en la gráfica de rango y de la desviación estándar los datos graficados son parámetros establecidos en función de la relación que presentan los resultados de los ensayos realizados. Esta gráfica para resistencia, presenta solo el 5.0 % de los datos fuera del rango de control, y la dispersión se aprecia dividida en tres partes, la primera se encuentra agrupada cerca de la línea central y abarca aproximadamente la primera mitad de los registros, la segunda se abarca aproximadamente una cuarta parte después de la mitad y se ubica entre la línea central de control y la línea superior de control, finalmente la dispersión se presenta amplia en los límites establecidos excediendo el límite inferior de control. Por los motivos definidos en base a la interpretación gráfica se concluye que el procedimiento esta fuera de control.

En las pruebas de resistencia, la gráfica de rango, presenta una dispersión cercana a cero, disminuyendo esta al aproximarse a la línea superior de control, el 3.7 % del rango de las resistencias obtenidas se encuentran mayores a los límites de control establecidos, por lo que se concluye que no se tiene control de calidad en el desarrollo de los procedimientos ejecutados, de tal manera que es necesario monitorear los procedimientos para hacer los ajustes necesarios y controlar la calidad.

En la gráfica de desviación estándar donde se plasman los resultados de resistencia por el método de compresión, los límites establecidos son más rigurosos comparando con los límites que presenta la gráfica de rango, en esta gráfica de control el porcentaje ausente de los límites de control es el 7.6 % y la dispersión que se presenta es similar, agrupada cerca del límite inferior de control y disminuyendo su agrupación mientras más cercanos se encuentran sus valores al límite superior excediéndolo ligeramente. Se concluye que no se tiene control en los procedimientos establecidos y es necesario revisar y corregir actividades en el proceso de elaboración.

De las cinco gráficas presentadas las dos primeras aplican para procedimientos donde los registros que se tienen, son datos individuales, las tres siguientes aplican cuando los registros que se tienen son muestras con mínimo dos elementos para poder obtener promedios, rangos y desviaciones en cada una de ellas y graficarlas.

La única gráfica que presenta un estado de control es la gráfica de mediciones individuales, que aplica para la prueba de revenimiento, al interpretar las demás gráficas concluimos que se tenían que haber realizado ajustes para llegar a un estado de control de calidad.

Al realizar los gráficos de control, se puede reducir los rangos de variación, lo que nos permite reducir la incertidumbre dando mayor certeza de los resultados.

Con las gráficas presentadas, se tienen las referencias suficientes para determinar el control de calidad a diferentes niveles de aceptación desde grados amplios de tolerancia a grados de tolerancia muy exigentes.

Con los datos que se tienen y la aplicación gráfica de ellos, únicamente se realizó la revisión de la calidad, para los procedimientos ejecutados en la construcción del Puente Inferior Vehicular hasta después de haber concluido la obra.

Las recomendaciones se presentan para disminuir la variabilidad en la elaboración del concreto hidráulico colocado durante el procedimiento de elaboración de elementos estructurales y para mejorar la calidad que se tiene cuando la obra no está en control total, las consideraciones que se deben de tener son las siguientes:

Elaborar gráficas de control día con día para las pruebas de revenimiento y resistencia desde el inicio de la obra hasta que se concluya, para detectar la variabilidad de los resultados y realizar los ajustes necesarios a diario para la mejora productiva. Las gráficas de control nos permiten llevar todo constante, así como detectar el momento de la presencia de una variación y poder hacer las correcciones necesarias a tiempo. La comparación de las gráficas permite hacer control (graficas de revenimiento y de resistencia).

Utilizar cartas de control (gráficas de control) para evitar que se originen errores al final de la obra, realizando los ajustes necesarios desde el inicio de la misma en función del equipo que se utiliza, el personal operativo y administrativo, definiendo el grado de afectación durante la producción del concreto hidráulico.

Es primordial plantear procedimientos de evaluación que se ejecuten durante las actividades desde la recolección de los agregados, durante la elaboración del concreto hidráulico en planta, traslado, colocación y curado de los elementos estructurales que se realicen.

Es necesario realizar el mantenimiento a la máquina de compresión una vez en el intervalo de doce meses, cuando el uso de esta es mínimo o normal, pero cuando el uso es intenso se tendrá que realizar una vez en el intervalo de seis meses. La calibración del equipo se debe efectuar durante el mantenimiento.

La prensa donde se realizaron los ensayos de los resultados graficados es una prensa marca ELE con capacidad de 120 toneladas, caratula digital, control de velocidad durante la aplicación de carga y su calibración se lleva a cabo una vez en el intervalo de doce meses, en la cual no se presentan señales de desconfianza en los resultados.

Es indispensable que los procedimientos y las pruebas que aplican para la realización y verificación de la calidad del concreto hidráulico sean ejecutados adecuadamente para determinar sus características, así mismo los registros que se tengan tendrán que ser llenados con claridad para una buena interpretación de ellos.

Contratar a un supervisor con los conocimientos y capacidades necesarias para que verifique durante todo el procedimiento de elaboración la correcta ejecución de las actividades y que este a su vez cuente con personal de confianza para detectar cualquier tipo de variabilidad que se pudiera presentar.

Realizar evaluaciones periódicas al personal que interviene en la ejecución de los procedimientos para detectar el interés que presentan en su trabajo, así como revisar la maquinaria, teniendo presente el tiempo de uso que tiene, comparándolo con la vida útil correspondiente y detectando si presenta alguna falla, es de suma importancia contar con repuestos parciales o totales de la maquinaria requerida para cualquier eventualidad que se pudiera presentar.

Es de gran interés que la media y la moda de los revenimientos y resistencias obtenidos sean lo requerido por el cliente.

BIBLIOGRAFIA

Bain D. y Obla K., Concrete Quality Control The Untapped Profit Center, Concrete in focus feature, (63 – 69), Fall 2007.

Henzel J., Grube H., Strength Studies of Concrete on an Actual Job and of the Corresponding Control Cubes, La Science a loevrepourle at work for Canada, 20 pp.

Laboratorio de Materiales FIUAEMex., Registros de Pruebas de Revenimiento y Determinación de las Resistencias a Compresión, 2010 – 2011, Toluca, Estado de México.

Meli R. y Mendoza C. J., Reglas de verificación de calidad del concreto, Revista Ingeniería LXI, (19 – 24).

Obla K., Concrete Quality Control Series part I y part II, Concrete in focus tech talk, (17 – 23), Spring 2007.

ONNCCE, S.C., Norma Mexicana NMX-C-148-ONNCCE-2002 “Cementos Hidráulicos-Gabinetes y Cuartos Húmedos y Tanques de Almacenamiento para el Curado de Especímenes de Mortero y Concreto de Cementantes Hidráulicos”, 2002., ONNCCE S.C., México NMX.

ONNCCE, S.C., Norma Mexicana NMX-C-161-1997-ONNCCE “Concreto Fresco Muestreo”, 1997. ONNCCE S.C., México NMX.

ONNCCE, S.C., Norma Mexicana NMX-C-109-ONNCCE-2010 “Determinación del Cabeceo de Especímenes”, 2010., ONNCCE S.C., México NMX.

ONNCCE, S.C., Norma Mexicana NMX-C-083-ONNCCE-2002 “Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto – Método de Prueba”, 2010., ONNCCE S.C., México NMX.

ONNCCE, S.C., Norma Mexicana NMX-C-156-ONNCCE-2010 “Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco”, 2010., ONNCCE S.C., México NMX.

ONNCCE, S.C., Norma Mexicana NMX-C-160-ONNCCE-2004 “Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto”, 2004., ONNCCE S.C., México NMX.

Wadsworth H., Stephens K. y Godfrey A., Métodos de CONTROL DE CALIDAD. 2a Edición, México: CECSA, 2005, 682 pp.

ANEXO I TABLA DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO.

No	Rev. Proyecto (mm)	Rev. Obra (mm)	TMA (mm)	f'c de proyecto (kg/cm ²)	Marca de Cemento	Equipo de Mezclado
1	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
2	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
3	140	175	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
4	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
5	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
6	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
7	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
8	140	175	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
9	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
10	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
11	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
12	140	135	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
13	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
14	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
15	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
16	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
17	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
18	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
19	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
20	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
21	140	175	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
22	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
23	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
24	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
25	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
26	140	135	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
27	140	175	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
28	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
29	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
30	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
31	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
32	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR

No	Rev. Proyecto (mm)	Rev. Obra (mm)	TMA (mm)	f'c de proyecto (kg/cm ²)	Marca de Cemento	Equipo de Mezclado
33	140	120	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
34	140	125	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
35	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
36	140	135	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
37	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
38	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
39	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
40	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
41	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
42	140	120	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
43	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
44	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
45	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
46	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
47	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
48	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
49	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
50	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
51	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
52	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
53	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
54	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
55	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
56	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
57	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
58	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
59	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
60	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
61	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
62	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
63	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
64	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
65	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
66	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR

No	Rev. Proyecto (mm)	Rev. Obra (mm)	TMA (mm)	f'c de proyecto (kg/cm ²)	Marca de Cemento	Equipo de Mezclado
67	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
68	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
69	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
70	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
71	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
72	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
73	140	130	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
74	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
75	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
76	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
77	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
78	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
79	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
80	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
81	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
82	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
83	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
84	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
85	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
86	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
87	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
88	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
89	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
90	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
91	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
92	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
93	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
94	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
95	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
96	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
97	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
98	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
99	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
100	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR

No	Rev. Proyecto (mm)	Rev. Obra (mm)	TMA (mm)	f'c de proyecto (kg/cm ²)	Marca de Cemento	Equipo de Mezclado
101	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
102	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
103	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
104	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
105	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
106	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
107	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
108	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
109	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
110	140	160	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
111	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
112	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
113	140	135	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
114	140	135	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
115	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
116	140	130	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
117	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
118	140	120	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
119	140	130	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
120	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
121	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
122	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
123	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
124	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
125	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
126	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
127	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
128	140	135	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
129	140	175	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
130	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
131	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
132	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
133	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
134	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR

No	Rev. Proyecto (mm)	Rev. Obra (mm)	TMA (mm)	f'c de proyecto (kg/cm²)	Marca de Cemento	Equipo de Mezclado
135	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
136	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
137	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
138	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
139	140	130	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
140	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
141	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
142	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
143	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
144	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
145	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
146	140	165	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
147	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
148	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
149	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
150	140	145	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
151	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
152	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
153	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
154	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
155	140	170	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
156	140	155	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
157	140	150	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
158	140	140	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR
159	140	180	20	250	Apasco	CAMIÓN MEZCLADOR

ANEXO II TABLA DE DATOS DE REVENIMIENTO.

No	Rev. de Obra (mm).	No	Rev. de Obra (mm).	No	Rev. de Obra (mm).	No	Rev. de Obra (mm).	No	Rev. de Obra (mm).	No	Rev. de Obra (mm).
1	150	31	155	61	145	91	150	121	150	151	140
2	150	32	140	62	145	92	170	122	150	152	170
3	175	33	120	63	140	93	170	123	150	153	150
4	140	34	125	64	150	94	145	124	150	154	155
5	160	35	150	65	150	95	150	125	170	155	170
6	170	36	135	66	170	96	160	126	140	156	155
7	165	37	150	67	150	97	140	127	150	157	150
8	175	38	150	68	155	98	140	128	135	158	140
9	170	39	160	69	150	99	170	129	175	159	180
10	150	40	150	70	165	100	150	130	140		
11	155	41	170	71	140	101	165	131	145		
12	135	42	120	72	155	102	145	132	150		
13	150	43	145	73	130	103	150	133	155		
14	165	44	150	74	160	104	165	134	170		
15	165	45	165	75	150	105	170	135	145		
16	155	46	170	76	145	106	170	136	140		
17	150	47	160	77	170	107	150	137	145		
18	145	48	165	78	160	108	140	138	145		
19	150	49	140	79	160	109	145	139	130		
20	155	50	155	80	160	110	160	140	145		
21	175	51	145	81	165	111	140	141	155		
22	140	52	150	82	170	112	155	142	140		
23	160	53	165	83	170	113	135	143	150		
24	160	54	170	84	150	114	135	144	150		
25	145	55	145	85	155	115	140	145	155		
26	135	56	145	86	170	116	130	146	165		
27	175	57	140	87	165	117	155	147	140		
28	170	58	170	88	140	118	120	148	170		
29	160	59	160	89	170	119	130	149	140		
30	140	60	150	90	140	120	145	150	145		

ANEXO III TABLA DE DATOS DE RESISTENCIA.

No	resistencia a 28 días (kg/cm ²).	
	ensaye 1	ensaye 2
1	274.94	278.30
2	262.79	271.68
3	216.40	225.28
4	277.86	264.36
5	258.92	257.04
6	261.37	259.66
7	269.57	261.82
8	270.83	259.66
9	260.74	260.20
10	258.58	260.94
11	260.74	259.09
12	257.55	265.07
13	262.45	267.61
14	260.49	239.26
15	261.29	262.85
16	251.27	276.55
17	258.55	260.54
18	257.65	262.49
19	257.48	260.94
20	258.12	258.75
21	258.10	261.08
22	259.37	260.03
23	259.11	258.58
24	257.02	257.66
25	265.58	258.29
26	259.66	257.48
27	236.07	236.53
28	224.51	234.36
29	251.02	245.71
30	256.57	260.66

No	resistencia a 28 días(kg/cm ²).	
	ensaye 1	ensaye 2
31	254.14	251.63
32	257.55	258.46
33	257.84	256.40
34	261.37	262.79
35	262.34	261.82
36	259.83	257.84
37	257.84	259.37
38	250.09	260.46
39	245.02	244.46
40	259.66	260.66
41	266.08	247.73
42	256.91	256.64
43	260.06	268.37
44	286.95	275.19
45	261.50	258.67
46	260.23	262.72
47	257.08	259.15
48	259.43	258.06
49	260.02	262.26
50	237.61	235.37
51	259.32	257.87
52	260.68	258.06
53	257.78	259.20
54	260.94	256.40
55	258.40	262.15
56	258.75	258.21
57	269.65	281.51
58	275.42	279.88
59	267.44	266.05
60	259.66	259.32

No	resistencia a 28 días (kg/cm ²).	
	ensaye 1	ensaye 2
61	254.99	256.69
62	258.55	248.42
63	259.66	258.86
64	256.85	259.03
65	260.11	259.83
66	256.69	269.51
67	248.55	253.90
68	254.06	254.25
69	255.96	256.40
70	248.42	228.90
71	252.10	257.22
72	256.23	259.03
73	259.17	258.23
74	257.04	258.58
75	256.41	261.40
76	252.10	257.14
77	266.44	266.05
78	251.20	224.15
79	260.84	267.61
80	241.97	255.04
81	270.55	263.65
82	263.76	255.61
83	271.11	257.26
84	275.38	277.12
85	275.25	274.00
86	234.76	247.82
87	272.02	266.81
88	250.51	250.86
89	254.36	255.78
90	265.86	272.13

No	resistencia a 28 días (kg/cm ²).	
	ensaye 1	ensaye 2
91	278.64	282.68
92	275.55	274.17
93	265.58	271.28
94	279.26	281.53
95	272.07	278.78
96	280.21	271.90
97	269.87	270.21
98	279.42	271.44
99	272.36	269.77
100	271.96	278.64
101	273.10	263.36
102	278.64	277.57
103	268.76	271.90
104	270.41	274.42
105	264.83	268.15
106	273.68	272.47
107	271.62	268.34
108	271.90	274.96
109	267.18	272.47
110	274.06	272.81
111	274.64	271.91
112	273.85	270.49
113	273.27	275.42
114	274.01	272.19
115	275.86	272.30
116	276.83	280.55
117	259.63	252.71
118	275.28	277.24
119	273.31	276.38
120	273.72	273.44

No	resistencia a 28 días (kg/cm ²).	
	ensaye 1	ensaye 2
121	275.44	277.69
122	273.27	274.96
123	262.11	253.46
124	257.57	263.19
125	266.36	270.20
126	248.90	247.53
127	274.29	261.98
128	293.93	296.78
129	276.05	277.91
130	274.11	270.02
131	274.97	263.93
132	283.92	277.49
133	279.30	283.49
134	257.95	268.80
135	268.76	252.85
136	275.76	251.03
137	274.79	280.41
138	272.86	271.45
139	257.65	260.53
140	244.62	237.78
141	250.94	257.68
142	263.35	263.76
143	250.06	256.36
144	255.44	233.48
145	248.90	248.04
146	227.30	206.66
147	218.10	232.24
148	270.67	273.96
149	268.00	267.03
150	233.00	232.26

No	resistencia a 28 días (kg/cm ²).	
	ensaye 1	ensaye 2
151	242.80	254.48
152	218.07	214.14
153	224.87	201.24
154	258.44	262.45
155	268.29	265.19
156	247.18	263.08
157	237.65	243.19
158	254.42	256.23
159	275.87	276.31

ANEXO IV TABLA DE PROMEDIO DE DOS ENSAYES DE RESISTENCIA DE LA MISMA MUESTRA.

No	promedio de dos ensayos (kg/cm ²).	No	promedio de dos ensayos (kg/cm ²).	No	promedio de dos ensayos (kg/cm ²).	No	promedio de dos ensayos (kg/cm ²).	No	promedio de dos ensayos (kg/cm ²).	No	promedio de dos ensayos (kg/cm ²).
1	276.62	31	252.88	61	255.84	91	280.66	121	276.57	151	248.64
2	267.24	32	258.01	62	253.49	92	274.86	122	274.11	152	216.11
3	220.84	33	257.12	63	259.26	93	268.43	123	257.78	153	213.06
4	271.11	34	262.08	64	257.94	94	280.40	124	260.38	154	260.45
5	257.98	35	262.08	65	259.97	95	275.43	125	268.28	155	266.74
6	260.51	36	258.83	66	263.10	96	276.06	126	248.22	156	255.13
7	265.70	37	258.60	67	251.23	97	270.04	127	268.13	157	240.42
8	265.25	38	255.27	68	254.15	98	275.43	128	295.35	158	255.33
9	260.47	39	244.74	69	256.18	99	271.06	129	276.98	159	276.09
10	259.76	40	260.16	70	238.66	100	275.30	130	272.07		
11	259.91	41	256.90	71	254.66	101	268.23	131	269.45		
12	261.31	42	256.78	72	257.63	102	278.10	132	280.70		
13	265.03	43	264.22	73	258.70	103	270.33	133	281.39		
14	249.87	44	281.07	74	257.81	104	272.42	134	263.38		
15	262.07	45	260.08	75	258.91	105	266.49	135	260.81		
16	263.91	46	261.48	76	254.62	106	273.08	136	263.39		
17	259.55	47	258.11	77	266.24	107	269.98	137	277.60		
18	260.07	48	258.75	78	237.67	108	273.43	138	272.16		
19	259.21	49	261.14	79	264.22	109	269.83	139	259.09		
20	258.43	50	236.49	80	248.50	110	273.44	140	241.20		
21	259.59	51	258.59	81	267.10	111	273.27	141	254.31		
22	259.70	52	259.37	82	259.68	112	272.17	142	263.56		
23	258.84	53	258.49	83	264.18	113	274.34	143	253.21		
24	257.34	54	258.67	84	276.25	114	273.10	144	244.46		
25	261.94	55	260.28	85	274.62	115	274.08	145	248.47		
26	258.57	56	258.48	86	241.29	116	278.69	146	216.98		
27	236.30	57	275.58	87	269.42	117	256.17	147	225.17		
28	229.44	58	277.65	88	250.68	118	276.26	148	272.31		
29	248.37	59	266.74	89	255.07	119	274.84	149	267.52		
30	258.62	60	259.49	90	269.00	120	273.58	150	232.63		

ANEXO V TABLA G FACTORES DE LA GRÁFICA DE CONTROL PARA LA TENDENCIA CENTRAL (Wadsworth, 2005).

TABLA G Factores de la gráfica de control para la tendencia central

n	A	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	E_1	E_2	E_3
2	2.121	3.760	1.880	2.659	2.223	2.223	1.880	1.880	5.318	2.660	3.760
3	1.732	2.394	1.023	1.954	1.266	1.137	1.187	1.067	4.146	1.772	3.385
4	1.500	1.880	0.729	1.628	0.828	0.828	0.796	0.796	3.760	1.457	3.256
5	1.342	1.596	0.577	1.427	0.712	0.681	0.691	0.660	3.568	1.290	3.191
6	1.225	1.410	0.483	1.287	0.563	0.595	0.549	0.580	3.454	1.184	3.153
7	1.134	1.277	0.419	1.182	0.521	0.533	0.509	0.521	3.378	1.109	3.127
8	1.061	1.175	0.373	1.099	0.443	0.487	0.434	0.477	3.323	1.054	3.109
9	1.000	1.094	0.337	1.032	0.420	0.453	0.412	0.444	3.283	1.010	3.095
10	0.949	1.028	0.308	0.975	0.371	0.427	0.365	0.419	3.251	0.975	3.084
11	0.905	0.973	0.285	0.927	0.356	0.406	0.350	0.399	3.226	0.946	3.076
12	0.866	0.925	0.266	0.886	0.322	0.388	0.317	0.382	3.205	0.921	3.069
13	0.832	0.884	0.249	0.850	0.311	0.374	0.306	0.368	3.188	0.899	3.063
14	0.802	0.848	0.235	0.817	0.286	0.361	0.282	0.356	3.174	0.881	3.058
15	0.775	0.816	0.223	0.789	0.278	0.351	0.274	0.346	3.161	0.864	3.054
16	0.750	0.788	0.212	0.763	0.260	0.342	0.257	0.337	3.150	0.849	3.050
17	0.728	0.762	0.203	0.739	0.254	0.344	0.250	0.329	3.141	0.836	3.047
18	0.707	0.738	0.194	0.718	0.240	0.327	0.237	0.322	3.133	0.824	3.044
19	0.688	0.717	0.187	0.698	0.234	0.319	0.231	0.315	3.125	0.813	3.042
20	0.671	0.697	0.180	0.680	0.221	0.313	0.218	0.308	3.119	0.803	3.040
21	0.655	0.679	0.173	0.663	0.218	0.307	0.215	0.303	3.113	0.794	3.038
22	0.640	0.662	0.167	0.647	0.207	0.302	0.204	0.298	3.107	0.785	3.036
23	0.626	0.647	0.162	0.633	0.205	0.296	0.202	0.292	3.103	0.778	3.034
24	0.612	0.632	0.157	0.619	0.194	0.292	0.192	0.288	3.098	0.770	3.033
25	0.600	0.619	0.153	0.606	0.193	0.287	0.191	0.284	3.094	0.763	3.032
>25	$3/\sqrt{n}$	$3/(c_2\sqrt{n})$	$3/(d_2\sqrt{n})$	$3/(c_4\sqrt{n})$	$3e_3/d_4$	$3e_4/d_4$	$3e_3/d_2$	$3e_4/d_2$	$3/c_2$	$3/d_2$	$3/c_4$

Los valores de A , A_1 , A_2 , A_3 , E_2 y E_3 son de la ASTM-STP 15D con permiso de la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales.

ANEXO VI TABLA H FACTORES DE LA GRÁFICA DE CONTROL PARA LA DISPERSIÓN; FACTORES PARA LAS GRÁFICAS DE RANGO (Wadsworth, 2005).

TABLA H Factores de la gráfica de control para la dispersión; factores para las gráficas del rango

Núm. de observación en la muestra <i>n</i>	d_2	d_3	d_4	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	d_2/c_2	d_2/c_4
2	1.128	0.853	0.954	0	3.686	0	3.269	0	3.68	1.999	1.414
3	1.693	0.888	1.588	0	4.358	0	2.574	0	2.67	2.340	1.910
4	2.059	0.880	1.978	0	4.698	0	2.282	0	2.33	2.581	2.235
5	2.326	0.864	2.257	0	4.918	0	2.114	0	2.14	2.767	2.474
6	2.534	0.848	2.472	0	5.078	0	2.004	0	2.02	2.917	2.663
7	2.704	0.833	2.645	0.205	5.203	0.076	1.924	0.055	1.94	3.044	2.704
8	2.847	0.820	2.791	0.387	5.307	0.136	1.864	0.119	1.88	3.154	2.950
9	2.970	0.808	2.915	0.546	5.394	0.184	1.816	0.168	1.83	3.250	3.064
10	3.078	0.797	3.024	0.687	5.469	0.223	1.777	0.209	1.79	3.336	3.164
11	3.173	0.787	3.120	0.812	5.534	0.256	1.744	0.243	1.75	3.412	3.253
12	3.258	0.778	3.207	0.924	5.592	0.284	1.716	0.272	1.72	3.481	3.333
13	3.336	0.770	3.285	1.026	5.646	0.308	1.692	0.297	1.70	3.545	3.406
14	3.407	0.762	3.356	1.121	5.693	0.329	1.671	0.319	1.68	3.604	3.473
15	3.472	0.755	3.422	1.207	5.737	0.348	1.652	0.338	1.66	3.659	3.535
16	3.532	0.749	3.482	1.285	5.779	0.364	1.636	0.355	1.64	3.709	3.591
17	3.588	0.743	3.538	1.359	5.817	0.379	1.621	0.370	1.63	3.757	3.644
18	3.640	0.738	3.591	1.426	5.854	0.392	1.608	0.383	1.61	3.801	3.694
19	3.689	0.733	3.640	1.490	5.888	0.404	1.596	0.396	1.60	3.843	3.741
20	3.735	0.729	3.686	1.548	5.922	0.414	1.586	0.407	1.59	3.883	3.785
21	3.778	0.724	3.729	1.606	5.950	0.425	1.575	0.418	1.58	3.920	3.825
22	3.819	0.720	3.771	1.659	5.979	0.434	1.566	0.427	1.57	3.955	3.865
23	3.858	0.716	3.810	1.710	6.006	0.443	1.557	0.436	1.56	3.990	3.902
24	3.895	0.712	3.847	1.759	6.031	0.452	1.548	0.445	1.55	4.022	3.938
25	3.931	0.709	3.882	1.804	6.058	0.459	1.541	0.452	1.54	4.054	3.972
>25	\bar{R}/σ	σ_R/σ	\bar{R}/σ	$d_2 - 3d_3$	$d_2 + 3d_3$	$1 - 3d_3/d_2$	$1 + 3d_3/d_2$	$1 - 3d_3/d_4$	$1 + 3d_3/d_4$		

Los valores de $c_4, B_3, B_4, B_5, B_6, d_2, d_3, D_1, D_2, D_3$ y D_4 son ASTM-STP 15D con permiso de la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales.

TABLA H Factores de la gráfica de control para la desviación estándar (continuación)

n	c_2	c_3	c_4	c_5	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	C	C_1	C_2	C_3	e_3	e_4
2	0.564	0.427	0.798	0.603	0	1.843	0	3.267	0	2.606	0.879	1.558	0.780	1.101	0.707	0.707
3	0.724	0.378	0.886	0.463	0	1.858	0	2.568	0	2.276	1.268	1.752	0.749	1.431	0.602	0.670
4	0.798	0.337	0.921	0.389	0	1.808	0	2.266	0	2.088	1.500	1.880	0.728	1.628	0.546	0.546
5	0.841	0.306	0.940	0.341	0	1.756	0	2.089	0	1.964	1.658	1.972	0.713	1.764	0.512	0.536
6	0.869	0.280	0.952	0.308	0.026	1.711	0.030	1.970	0.029	1.874	1.775	2.044	0.701	1.866	0.490	0.464
7	0.888	0.261	0.959	0.282	0.105	1.672	0.118	1.882	0.113	1.806	1.866	2.101	0.690	1.945	0.470	0.459
8	0.903	0.245	0.965	0.262	0.167	1.638	0.185	1.815	0.179	1.751	1.939	2.148	0.681	2.010	0.453	0.412
9	0.914	0.232	0.969	0.246	0.219	1.609	0.239	1.761	0.232	1.707	2.000	2.189	0.673	2.063	0.440	0.408
10	0.923	0.220	0.973	0.232	0.262	1.584	0.284	1.716	0.276	1.669	2.051	2.223	0.667	2.109	0.430	0.374
11	0.930	0.211	0.975	0.220	0.299	1.561	0.321	1.679	0.313	1.637	2.095	2.253	0.661	2.148	0.422	0.370
12	0.936	0.202	0.978	0.210	0.331	1.541	0.354	1.646	0.346	1.610	2.134	2.280	0.655	2.183	0.415	0.344
13	0.941	0.195	0.979	0.202	0.359	1.523	0.382	1.618	0.374	1.585	2.168	2.304	0.650	2.214	0.409	0.340
14	0.945	0.188	0.981	0.194	0.384	1.507	0.406	1.594	0.399	1.563	2.198	2.326	0.646	2.241	0.404	0.320
15	0.949	0.181	0.982	0.187	0.406	1.492	0.428	1.572	0.421	1.544	2.225	2.345	0.641	2.266	0.400	0.317
16	0.952	0.175	0.984	0.181	0.427	1.478	0.448	1.552	0.440	1.526	2.250	2.362	0.637	2.288	0.397	0.302
17	0.955	0.170	0.985	0.175	0.445	1.465	0.466	1.534	0.458	1.511	2.272	2.379	0.633	2.308	0.394	0.299
18	0.958	0.165	0.985	0.170	0.461	1.454	0.482	1.518	0.475	1.496	2.293	2.395	0.630	2.327	0.391	0.287
19	0.960	0.161	0.986	0.166	0.477	1.443	0.497	1.503	0.490	1.483	2.312	2.408	0.626	2.344	0.387	0.284
20	0.962	0.157	0.987	0.161	0.491	1.433	0.510	1.490	0.504	1.470	2.329	2.422	0.623	2.360	0.384	0.272
21	0.964	0.153	0.988	0.157	0.504	1.424	0.523	1.477	0.516	1.459	2.345	2.434	0.621	2.375	0.382	0.271
22	0.966	0.149	0.988	0.153	0.516	1.415	0.534	1.466	0.528	1.448	2.360	2.445	0.618	2.389	0.379	0.260
23	0.967	0.146	0.989	0.150	0.527	1.407	0.545	1.455	0.539	1.438	2.374	2.456	0.616	2.402	0.376	0.260
24	0.968	0.143	0.989	0.147	0.538	1.399	0.555	1.445	0.549	1.429	2.388	2.466	0.613	2.414	0.374	0.249
25	0.970	0.140	0.990	0.144	0.548	1.392	0.565	1.435	0.559	1.420	2.400	2.475	0.610	2.425	0.372	0.250
>25	$\delta_{\text{rms}}/\sigma$	$\sigma_{\text{rms}}/\sigma$	\bar{s}/σ	σ_r/σ	$c_2 - 3c_3$	$c_2 + 3c_3$	$1 - 3c_3/c_4$	$1 + 3c_3/c_4$	$c_4 - 3c_5$	$c_4 + 3c_5$	$3 - A$	$E_1 - A_1$	$E_2 - A_2$	$E_3 - A_3$	σ_M/σ	σ_r/σ