



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría De Investigación y Estudios de Posgrado

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO EN EL
PUENTE DEL NODO VIAL ATLIXCAYOTL - PUEBLA”**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

OPCIÓN TERMINAL TRÁNSITO Y TRANSPORTE

Presenta:

ING. WOLSTANO VERNET LÓPEZ

Director de tesis:

M.I. JOSÉ LUIS STEFANONI MINUTTI

Co-Director:

M.I. FRANCISCO MARTÍN ALONSO RUIZ

PUEBLA, PUEBLA

Diciembre, 2018

BUAP



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría De Investigación y Estudios de Posgrado

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO EN EL
PUENTE DEL NODO VIAL ATLIXCAYOTL - PUEBLA”**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

OPCIÓN TERMINAL TRÁNSITO Y TRANSPORTE

Presenta:

ING. WOLSTANO VERNET LÓPEZ

Director de tesis:

M.I. JOSÉ LUIS STEFANONI MINUTTI

Co-Director:

M.I. FRANCISCO MARTÍN ALONSO RUÍZ

PUEBLA, PUEBLA

Diciembre, 2018



BUAP

Oficio No.3131/2018

C. Wolstano Vernet López

Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Tránsito y Transporte
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Evaluación de la calidad del concreto en el puente del nodo vial Atlixcáyotl - Puebla.** Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Tránsito y Transporte. Asignándose como Director al M.I. José Luis Stefanoni Minutti y Co-Director al M.I. Francisco Martín Alonso Ruiz.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Zaragoza, noviembre 28 de 2018.

M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director

C.c.p. M.I. José Luis Stefanoni Minutti y M.I. Francisco Martín Alonso Ruiz, Director y Co-Director del Tema de Tesis

Cc.p. Archivo

ABH/JLSM/sco

C--\J>

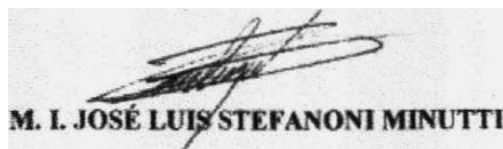
M.L FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD D.E
INGENIERIA DE LA B. U. A. P.
PRESENTE

El que suscribe M. I José Luis Stefanoni Minutti, asesor del Tema de Tesis denominado :
"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO EN EL PUENTE DEL NODO
VIAL AIIJCÁYOTL – PUEBLA" que presenta el ñt- WOLSTANO VERNET LÓPEZ,
egresado de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Tránsito y Transporte de la Facultad de
Ingeniería de la B.U. A.P; y autorizada con el oficio No. 313111018, de fecha 11 de noviembre de
2018, siendo requisito para su defensa en el examen de grado; informo a usted, que después de haber
procedido a revisar la tesis correspondiente, verificando que se han atendido las observaciones y
recomendaciones por un servidor, no existe inconveniente alguno de mi parte. en autorizar la
impresión de la misma. por lo que se extiende la presente para los efectos legales a que haya lugar.

Sin otro particular, queda de usted.

Puebla. Pue., a 29 de noviembre de 2018

ATENTAMENTE



M. I. JOSÉ LUIS STEFANONI MINUTTI

Ccp. Dr. Alejandro Hernández Bautista.- Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado
Ccp. Archivo

DEDICATORIA

A mis padres, Wolstano Vernet Hernández y Ma. Del Refugio López de Vernet (Q.E.P.D.), por haberme inculcado los buenos principios y orientado hacia la superación personal.

A mis hermanas, Myrna y Marisa con quienes comparto bellos momentos.

A mis hijos Yafet Isaí y Viridiana, a quienes siempre he amado desde su concepción y porque su presencia enriquece mi vida.

A mi amada Cecilia porque en todo momento me brindó su apoyo incondicional y con su amor despertó mi razón y mi voluntad.

A mis amigos por su agradable compañía y buenos deseos.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores por haberme transmitido sus conocimientos y por sus sabios consejos.

A mi Universidad, orgullosamente BUAP fuente del conocimiento e inspiración para la superación profesional, gracias por darme la oportunidad de pertenecer a su comunidad.

Índice

Introducción

Capítulo 1 Marco de referencia

- 1.1 Marco histórico
- 1.2 Microlocalización
- 1.3 Macrolocalización

Capítulo 2 Marco teórico

- 1.4 Especificaciones
- 1.5 Resistencia del concreto
- 1.6 Métodos de prueba
- 1.7 Análisis estadístico

Capítulo 3 Marco metodológico

- 1.8 Normas de control
- 1.9 Criterios
- 1.10 Procedimiento
- 1.11 Aplicación del método de Desviación Estandar
- 1.12 Análisis de resultados
- 1.13 Resumen de resultados

Conclusiones y Recomendaciones

Referencias

Anexos

Introducción.

En septiembre de 2015 el Ayuntamiento de Puebla, encabezado por Tony Gali Fayad, anunció que el puente 475 sería demolido completamente y en su lugar se construiría un nuevo acceso a la zona comercial y habitacional más importante de Puebla, denominado Nodo vial Atlixcáyotl.

Con una inversión de 362 millones de pesos (75 % recurso Estatal y 25% Municipal), el distribuidor que sustituirá a la obra más significativa de la era Doger ampliará la capacidad de tráfico de mil 800 vehículos por hora a 3 mil 600 vehículos por hora y contemplará dos carriles en el acceso de la 25 Sur y Circuito Juan Pablo II, así como un puente atirantado y el rescate de las áreas verdes del entorno.

Según el Alcalde Tony Gali, se esperaba que esta obra fuera inaugurada en marzo de 2016. El 22 de septiembre de 2015 comienzan las obras de reconstrucción del puente 475, contemplan un puente atirantado de 90 m. de longitud con dos carriles de 3.5 m. de ancho.

Este puente denominado 475 presentó fallas de origen muy relevantes que llevaron a profesionales expertos en Ingeniería de Tránsito y Transporte, Estructural, Mecánica de suelos y Construcción a realizar evaluaciones de campo para dictaminar su funcionabilidad y en base a ello tomar la decisión en cuanto a solo tres parámetros: tolerar, reforzar o demoler.

El resultado de las evaluaciones anteriormente descritas, concluyeron con la necesidad de reforzar dicho puente mediante un proyecto integral que denominaron de inicio "Remodelación del puente 475".

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El puente 475 anterior al nodo vial Atlixcáyotl-Puebla fue inaugurado en enero de 2007, una de las obras más importantes durante el trienio del Alcalde de Puebla Enrique Doger Guerrero.

Dicha obra fue construida por una empresa foránea “Construcciones y Puentes de Chihuahua”, sin embargo, no cumplió con las necesidades de incremento poblacional y seguridad estructural por lo que se propuso sustituirlo por otro proyecto puente para distribución vehicular llamado “Nodo vial Atlixcáyotl”.

El puente 475, tuvo un costo de 168 millones de pesos, el cual presentó deficiencias de origen según un dictamen técnico de la CMIC, firmado por el Arq. Alberto Ramírez y Ramírez, Presidente de la delegación Puebla de la CMIC y dirigido a Erik González Juárez, Subdirector de proyectos de la Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos del Ayuntamiento capitalino, el dictamen fue contundente en su valoración del puente 475.

- Bifurcaciones de ingreso mal diseñadas.
- Un solo carril en lugar de dos, como inicialmente se había anunciado.
- Sobre elevación máxima invertida.
- Radio de giro mínimo y sobre anchos insuficientes.
- Fallas estructurales en travesaños con aletas (travesaños Ballena), registradas durante su colado y colocación.

En este último punto se enfoca la atención, ya que la sugerencia por parte del personal del IMCYC, mediante dictamen, justificó técnicamente su demolición.

Estas deficiencias de origen generaron confusión en los automovilistas para ingresar al puente 475, accidentes,

congestionamientos viales e incertidumbre estructural. (Puebla on line – 22 Sep. 2015).

Por lo tanto, ¿cómo se puede determinar la mala calidad de los concretos en la estructura de un puente si se presentan desde el proceso de fabricación y colados?

JUSTIFICACIÓN

La presencia del concreto en México tiene más de un siglo, con la introducción del sistema Hennebique en 1901 (mismo año que inicia la primera constructora de concreto armado). No es sino hasta la segunda mitad del siglo pasado que los arquitectos lo aprovecharan de modo intensivo. La historia del concreto todavía no ha endurecido. Fluye en un largo trayecto, desde que el Ing. Miguel Rebolledo lo introdujo al país como representante de Hennebique, cuando empezó a aplicarse de manera más sistemática (año 1902). En la década de los 50's fue el "boom" del concreto en México. Durante este tiempo, se trazó sobre la zona de Copilco y Cuicuilco, la Ciudad Universitaria, que fue un verdadero laboratorio de prueba de materiales, procesos y diseños y un campo de ensayo de Urbanistas, Ingenieros y Arquitectos. Sin embargo, los controles de calidad fueron deficientes hasta la década de los años 60, cuando por fin se desarrollan métodos para la evaluación de la calidad del concreto. Estos métodos están basados en la probabilidad y la estadística.

Los diversos factores que afectan las variaciones de resistencia y durabilidad en un concreto no se tenían muy claros. A través de una serie de muestreos y ensayos a compresión simple de especímenes de concreto realizados en laboratorio, se establecen los parámetros adecuados, para definir el grado de calidad de una mezcla de concreto prefabricada o elaborada en obra.

Pasaron algunos años para que estos métodos de análisis pudieran aplicarse en obras de infraestructura vial y convertirse en la mejor herramienta de una supervisión de obra. Desafortunadamente, no todas las empresas del país cuentan con el conocimiento adecuado para implementar este sistema de control de calidad (“El concreto en México en el tiempo del IMCYC” - Enrique Chao).

En la obra “nodo vial Atlixcáyotl” – Puebla, como en cualquier otra, es necesario asegurar un buen control de calidad durante los procesos de fabricación, transporte, vaciado, vibrado, compactado, cimbrado y curado del concreto. Por esta razón, debe emplearse un método de análisis estadístico observado por la normatividad vigente. Este método debe ser aplicable a las condiciones de la obra y especificaciones del proyecto con el fin de garantizar los mejores resultados para su control, desde el punto de vista técnico - constructivo.

Durante el tiempo en que se ejecutó la obra, se consideró, dentro de los alcances del laboratorio, informar a las empresas ejecutoras sobre los resultados del ensaye de especímenes de concreto, obtenidos desde el proceso de colados, encaminados al mejoramiento de los procesos constructivos.

De acuerdo con lo anterior, para interpretar y evaluar la calidad de los concretos a detalle deben analizarse los resultados de prueba estadísticamente según la normatividad vigente. Las resistencias obtenidas en cada prueba solicitada, se comparan con la curva de distribución de frecuencia normal. De ahí, el interés por desarrollar el análisis estadístico de las pruebas realizadas durante el proceso de colados que permite evaluar la calidad de los elementos estructurales del puente “Nodo vial Atlixcáyotl” de acuerdo lo establecido en la norma ACI 214RS-11(última revisión Feb. 2017).

OBJETIVO GENERAL

Analizar las pruebas de laboratorio que se muestrearon y ensayaron durante el proceso de colados para determinar la calidad de los concretos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los conceptos teóricos a que se refiere el conocimiento de las variaciones en la resistencia del concreto fresco y endurecido debido a las diferencias en las propiedades de la mezcla y su influencia en los valores de la resistencia, así como en los procedimientos de prueba.
- Describir el método estadístico considerando desde los aspectos generales, la notación matemática empleada y los criterios para la evaluación de los resultados de prueba, de acuerdo con lo indicado en la normatividad vigente según corresponde.
- Aplicación del método de la desviación estándar, análisis e interpretación de los resultados obtenidos apegado a la norma ACI 214RS-11 y Al manual M.CAL.1.02 y -03 S.C.T. para emitir la valoración final del control de calidad de los concretos que se emplearon en la obra.

HIPÓTESIS

Demostrar, con la aplicación del método estadístico ACI 214RS-11, que es posible controlar la calidad de los concretos suministrados en el desarrollo del proyecto “Nodo vial Atlixcáyotl-Puebla” desde el proceso de fabricación y colados en obra.

MARCO TEÓRICO

El reglamento ACI (214RS-11-2017) dispone de las especificaciones de concreto necesarias y de los valores de resistencias mínimos requeridos para su análisis. También, se hace referencia a la curva

Gaussiana que se genera de forma gráfica para poder interpretar cuando es posible obtener un buen control de calidad en los concretos.

De acuerdo con los procedimientos normativos, según Gutiérrez Aranceta Carlo (2004), se considera un programa experimental donde se muestrean en campo todos los concretos. Los ensayos a compresión simple de estas muestras de concreto se hacen en laboratorio y se emiten reportes.

Los resultados de las pruebas obtenidas desde laboratorio deben evaluarse tal como menciona el reglamento (ACI 318S-08 – 2005). Es necesario obtener las desviaciones estándares y coeficientes de variación mediante un análisis estadístico.

Con el uso de herramientas probabilísticas, es posible predecir resistencias bajas analizando el comportamiento de los concretos ensayados en laboratorio. De esta forma se pretende auxiliar a las empresas contratistas en el uso racional de los materiales y en la forma de manipularlos.

En 1970, por primera vez en México, se realiza una evaluación de la infraestructura vial en la autopista Chihuahua – Querétaro en la que Oscar González Cuevas propone el muestreo de especímenes de concreto con proporción 2:1(altura-diámetro). Los ensayos de estos especímenes o probetas de concreto se realizan en pares a 7, 14 y 28 días y se promedian los resultados. Al obtener un universo de datos (30 resistencias diferentes), Oscar González analizó estadísticamente y obtuvo dispersiones importantes en sus resistencias. De esta forma, logra comparar las gráficas generadas con los resultados experimentales con la curva Gaussiana y emite su primer informe de calidad en los concretos empleados en la estructura en mención.

Debido a los constantes cambios en los lineamientos normativos, se hace necesario analizar toda la información generada

en campo. El laboratorio aporta cronológicamente cada prueba realizada a los concretos de la estructura Nudo vial Atlixcáyotl - Puebla. Dicha información se procesa conforme a lo dispuesto en la *Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto*. ACI (214RS-11-2017).

METODOLOGÍA

- Se revisará cronológicamente el contenido de documentos de laboratorio existentes para precisar el comportamiento de la calidad exhibida en distintos mantenimientos.
- Se describirán los procedimientos de prueba normativos para relacionar las discrepancias en el muestreo de especímenes elaborados en obra y en laboratorio.
- Se analizarán los resultados de prueba por el método estadístico para obtener las dispersiones en la resistencia del concreto.
- Se describirá el procedimiento aplicado de acuerdo con las normas de control y criterios normativos para modelar el fenómeno real de comportamiento en las diferencias de resistencias obtenidas desde los resultados de prueba.

Capítulo 1 Marco de referencia

1.1 Marco histórico

El Alcalde Tony Gali anunció que el martes 22 de septiembre de 2015 iniciaba la construcción del Nudo Vial Atlixcáyotl, que garantizaría mayor fluidez y seguridad a los automovilistas, y para el cual se programó una inversión superior a los 360 millones de pesos.

Detalló que, de acuerdo a lo programado por la Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos, los trabajos arrancaban con la reducción de tres a un carril en el Circuito Juan Pablo II, de 19 Sur al puente peatonal, con sentido de Oriente a Poniente, y de tres a dos carriles en el mismo tramo, pero en dirección contraria.

Asimismo, recordó que durante estos primeros días de intervención se movilizará maquinaria y, posteriormente, se procederá al cierre del paso en Avenida 25 Sur, de 31 Poniente a Circuito Juan Pablo II para los mismos fines.

Para el diseño del Nudo Vial Atlixcáyotl se consideraron las opiniones técnicas de organismos expertos como la Cámara de la Industria de la Construcción (CMIC), así como del Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Puebla (CICEPAC).

La construcción de la obra tendrá una duración aproximada de cinco meses en un formato 24/7, es decir, en un horario de 24 horas, los siete días de la semana. El objetivo es brindar infraestructura adecuada, acorde a las necesidades de movilidad e integridad de la población y que genere una duración de molestias mínima a la población de la ciudad de Puebla.

El alcalde Gali recalcó que el Nudo Vial Atlixcáyotl garantizará una circulación ágil y segura en la zona, así como también reducirá tiempos de desplazamiento.

Con la finalidad de informar a los automovilistas las vías alternas de circulación, se colocaron pendones y lonas en la zona, además de la entrega de trípticos informativos, a cargo de brigadas del Instituto Municipal de la Juventud. Durante el proceso de construcción del Nudo Vial Atlixcáyotl, el Ayuntamiento de Puebla publicará a través del portal y redes sociales, avances, mapa de la obra, cierres a la circulación y vías alternas.

1.2 Microlocalización

En esta sección se describe la ubicación y orientación de la obra en un sector delimitado de la ciudad de Puebla.

En este concepto la ubicación nos indica donde se localiza la obra en estudio y la orientación nos hace saber en qué rumbo o dirección se encuentra el lugar que se busca, determinando su posición exacta. Además de determinar en el espacio geográfico los puntos cardinales.

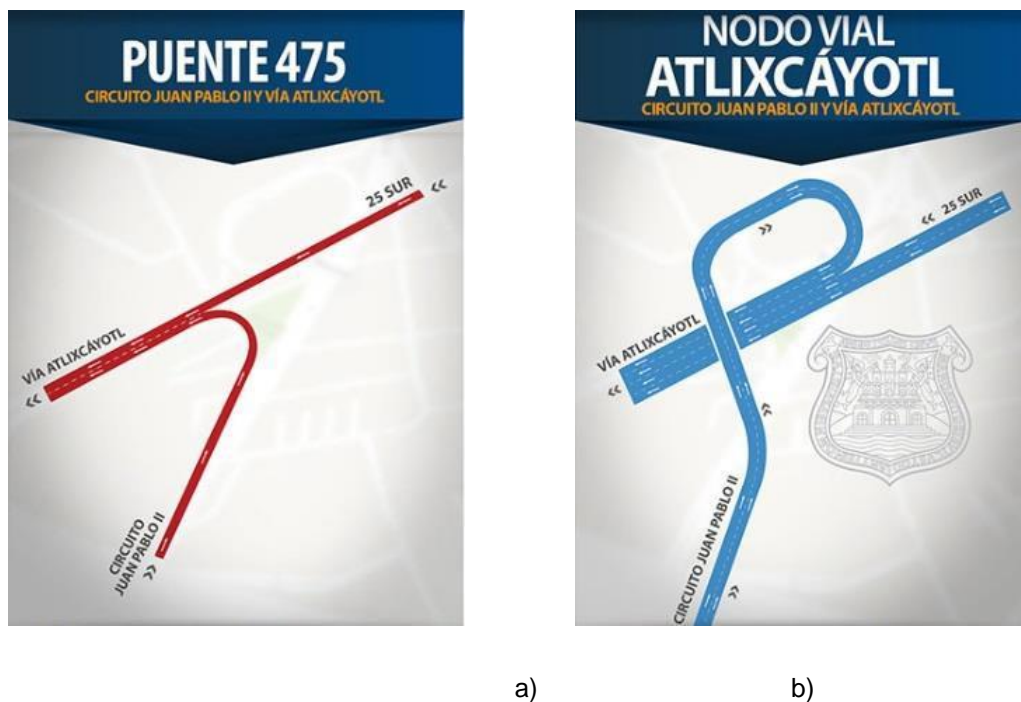


Fig. 1.1. Representación esquemática de la micro localización del proyecto. En la parte a) se muestra el proyecto original. En la parte b) se presenta el proyecto modificado.

En la siguiente figura anterior se muestra esquemáticamente el proyecto original del Puente 475 en su forma de micro localización y el proyecto modificado.

El aspecto geográfico de la micro localización requirió de un conjunto de acciones que implicaron desde áreas de afectación y rescate de áreas verdes, hasta la implementación de nuevos carriles que cumplieran con la capacidad vehicular derivada de la tasa de crecimiento poblacional. En las siguientes figuras se muestran imágenes de la obra.



a) Ubicación y orientación de la obra.

b) Vías alternas de paso de paso vehicular.

Fig. 1.2. En la parte a) se muestra el esquema de la ubicación y orientación de la obra en estudio, mientras que en b) se presentan las vías alternas para permitir el desarrollo del nuevo proyecto.

La creación de la obra requirió como uno de sus trabajos preliminares las demoliciones de las partes que conformaron el puente existente 475. En las siguientes figuras se muestran imágenes de parte de este proceso.



a)



b)

Fig. 1.3. Representación de las primeras demoliciones de la estructura del puente 475 (proyecto original).

Una proyección del rescate de áreas verdes se presenta en la Figura (1.4).



Fig. 1.4. Representación esquemática del rescate de áreas verdes en el entorno del Nudo Vial Atlixcáyotl-Puebla.

Adicionalmente, la implementación de nuevos carriles para permitir el desarrollo del proyecto remodelación del Puente 475 se presenta esquemáticamente en la Figura (1.5).

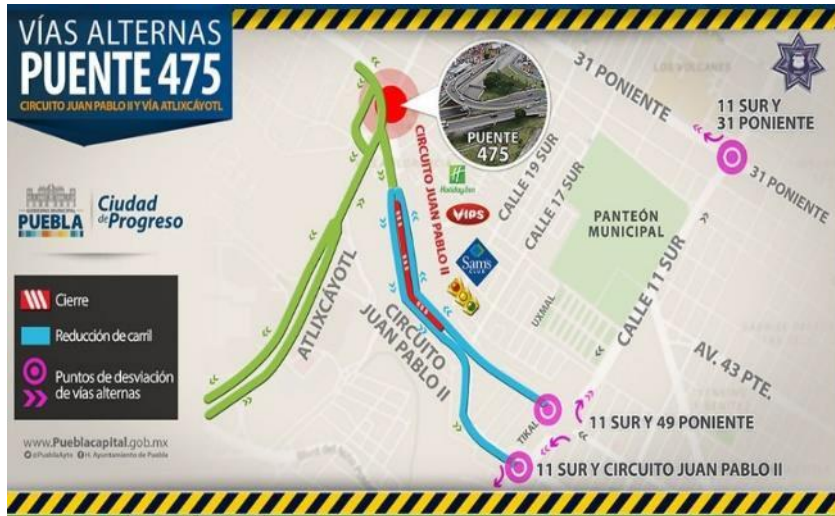


Fig. 1.5 Representación esquemática de la logística para implementar carriles de acceso.

1.3 Macro localización

La ubicación de la obra, en términos de coordenadas geográficas y vialidades principales, se presenta en esta sección de la tesis.

La macro localización implica el conocer los accesos principales para llegar a la obra en desarrollo. Asimismo, la realización de la macro localización es necesaria para conocer la orientación (mediante el conocimiento de las coordenadas correspondientes) del proyecto, con respecto al norte magnético de la Tierra, el cual es necesario para representar toda obra de este tipo.



Fig. 1.6. Macrolocalización de la obra en estudio.

En la figura anterior se muestra la macrolocalización de la obra en estudio. Vale la pena resaltar que se incluye tanto la ubicación del puente del nodo Vial Atlixcayotl-Puebla (Puente 485), la cual se señala, y la Rosa de los Vientos, que se emplea para indicar el norte magnético de la Tierra.

Capítulo 2 Marco teórico.

En el presente capítulo se tratan los criterios generales que aplican en las normas vigentes tanto del ACI y de las NOM's para concreto hidráulico.

2.1.- Especificaciones generales

La normatividad que aplica para el desarrollo del presente trabajo requiere del establecimiento de las definiciones propias, especificaciones pertinentes y de los conceptos matemáticos (específicamente estadísticos) y sus aplicaciones al tema de la evaluación de la calidad del concreto hidráulico. Todo se presenta a continuación.

Se inicia con las definiciones técnicas que aplican en la normatividad vigente de la ACI 214RS-11.

- Aditivos para concreto: Son materiales diferentes al agua, a los agregados y al cemento, que se pueden emplear como componentes del concreto y se agregan en pequeñas cantidades a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.
- Agregados: Son materiales naturales, procesados o artificiales, que se mezclan con los cementos y agua para hacer morteros o concretos.
- Cemento hidráulico: Es el cemento producido por la pulverización de Clinker y sulfato de calcio en alguna de sus formas.
- Coeficiente volumétrico: Es el índice relativo a la esfericidad de un agregado empleado para calificar la forma de los agregados gruesos. Asimismo, es la relación entre el volumen aparente de las partículas seleccionadas en condición saturada y superficialmente seca respecto al volumen de las esferas que la circunscriben.
- Complementos cementantes: Son materiales que desarrollan características cementantes, como la puzolana natural, escorias, humo de sílice, ceniza volante o ceniza de cáscara de arroz, que se pueden emplear

como constituyentes del cemento o del concreto. La cal no se considera como adición cementante.

- Concreto con aire incluido: Es el que tiene un contenido de aire mayor al 3% del volumen absoluto.
- Concreto de masa normal: Es aquel que tiene una masa unitaria de 1800 kg/cm³ a 2400 kg/cm³.
- Concreto hecho en obra: Es el concreto hidráulico para uso estructural, no industrializado, elaborado por medios mecánicos en el sitio de utilización y generalmente dosificado por volumen.
- Concreto hidráulico: Es una mezcla de materiales naturales, procesados o artificiales, cementante y agua, a la que además se le pueden agregar algunos aditivos y adicionantes para concreto.
- Adicionantes para concreto: Son aquellos materiales, como las fibras que se utilizan como refuerzo o los pigmentos, que no tienen propiedades cementantes.
- Concreto hidráulico en estado endurecido: Es la condición en la que el concreto hidráulico es capaz de resistir las acciones para las cuales fue especificado.
- Concreto hidráulico en estado fresco: Es la etapa inicial del proceso de fraguado del concreto durante el cual presenta una trabajabilidad que permite realizar las operaciones de transporte, colocación, compactación y acabado.
- Concreto hidráulico para uso estructural: Es el concreto hidráulico empleado para soportar esfuerzos y formar parte integral de una estructura. Los requisitos de resistencia y durabilidad los debe indicar el estructurista.
- Concreto industrializado.
- Es el concreto hidráulico elaborado en planta, ya sea fuera o en el sitio de utilización, y dosificado generalmente en peso.

- Curado: Es el proceso mediante el cual, en un ambiente especificado de humedad y temperatura, se favorece la hidratación del cemento hidráulico y en su caso, de los materiales cementantes en la mezcla.
- Diseño o proporcionamiento del concreto: Es el cálculo de las cantidades de materiales, por unidad de masa o volumen, que se requieren para fabricar un concreto que tenga las características especificadas.
- Dosificación: Operación mediante la cual se pesan o miden, en volumen, los sólidos y los líquidos, de acuerdo al diseño.
- Durabilidad: Es la capacidad del concreto hidráulico para resistir satisfactoriamente durante un tiempo determinado (vida útil) la acción ambiental, ataque químico y abrasión y de proteger al acero de refuerzo y demás elementos metálicos de la corrosión o cualquier otro proceso de deterioro, para mantener su forma original, condición de servicio y propiedades mecánicas.
- Estructura: Conjunto de elementos de una construcción cuya función es la de resistir las cargas o acciones para las que fue diseñada, incluyendo los efectos del medio ambiente al que esté sometido.
- Mezclado: La acción de revolver los componentes del concreto o mortero con el fin de formar una masa homogénea.
- Masa unitaria: Es la masa por unidad de volumen.
- Módulo de elasticidad o de Young: Es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria.
- Muestra: Porción representativa de un material.
- Recubrimiento: Es la protección que le da el concreto al acero de refuerzo contra el medio ambiente. Es la distancia medida desde la superficie del concreto a la parte más cercana al acero de refuerzo, (incluyendo a los zunchos, anillos y estribos).
- Relación agua/cementante: Es la relación de la cantidad de agua, excluyendo la absorbida por los agregados, a la cantidad de cemento más complemento cementante empleada en la mezcla.

- Resistencia a la compresión: Es la capacidad de carga por unidad de área del concreto hidráulico, medida en ensayos de especímenes elaborados, curados y probados en las condiciones estándar especificadas, generalmente expresada en MPa (kgf/cm^2).
- Resistencia especificada o característica, f'_c , a la compresión: Es la resistencia a la compresión especificada en el diseño estructural.
- Revenimiento: Es una medida de la consistencia del concreto fresco.
- Revoltura: Es el conjunto de los componentes del concreto, que intervienen en una sola operación de mezclado.
- Segregación de los agregados: Fenómeno por la cual se separa el agregado grueso del resto de la masa del concreto, afectando su homogeneidad.
- Tamaño máximo nominal del agregado: Es la dimensión de la criba de menor abertura por la que pasa o se requiere que pase la totalidad de un agregado con tolerancias en cuanto al retenido de dicha criba.

2.2.- Especificaciones particulares de los materiales empleados en los diseños de mezcla para la elaboración en los especímenes de concreto

En esta sección se presentan las especificaciones más importantes de los materiales comúnmente empleados en la elaboración de las mezclas de concreto hidráulico, haciendo referencia a las normas que aplican.

- Cemento hidráulico: Es aquel que se emplea en la elaboración del concreto hidráulico para uso en la construcción, debe cumplir con las características y especificaciones descritas en la NMX-C-414-ONNCCE. Adicionalmente, el cemento debe almacenarse de tal forma que quede protegido contra humedad que le pueda causar hidratación. Estas condiciones se verifican de acuerdo con el método de prueba indicado en la norma anteriormente descrita.

- Agregados: Deben cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-111-ONNCCE. El tamaño máximo del agregado se selecciona de acuerdo con las características del elemento estructural en que se utilice y con lo dispuesto en el reglamento de construcciones de cada localidad y debe ser indicado por el usuario (propietario de la obra). Esta especificación se verifica de acuerdo con el método de prueba indicado en esta norma.
- Agua de mezclado: Debe cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-122. El agua de dudosa calidad se acepta si cumple con el criterio indicado en la norma NMX-C-155-ONNCCE-2004. El agua de lavado del interior de las revolvedoras montadas en camión puede ser utilizada como agua de mezclado si cumple con los requisitos físicos indicados en la norma NMX-C-155-ONNCCE-2004. Los límites químicos opcionales en la Tabla 2 de la misma norma, deben ser especificados si son necesarios. Esta especificación se verifica de acuerdo con los métodos de prueba indicados por la norma NMX-C-122-ONNCCE.
- Aditivos: Se permite la utilización de aditivos en el concreto para satisfacer los requisitos especificados para el concreto fresco y endurecido. Cuando se requiera transportar el concreto se permite la inclusión de aditivos reductores de agua y retardantes de fraguado que permitan la entrega del producto en las condiciones acordadas. Para concretos de más de 100 mm de revenimiento nominal, se deben usar aditivos superfluidificantes o de reducción de agua, en lugar de agua para alcanzar el revenimiento. Para la selección y uso de los aditivos para concreto se debe consultar la norma mexicana NMX-C-255-ONNCCE y cumplir con los requisitos especificados. En caso de utilizarlos en obra, el responsable de la misma debe solicitar al fabricante o distribuidor información técnica e instrucciones para su almacenamiento, uso correcto y evidencias de su calidad satisfactoria con la finalidad de aprobar su empleo e informar al productor del concreto para su consentimiento. Esto se verifica de acuerdo con el método de prueba establecido por la norma anteriormente descrita.

- Complementos cementantes: Los complementos cementantes que se utilicen en el concreto deben cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-146-ONNCCE; éstos deben incorporarse a la mezcla de concreto mediante el uso de cementos que ya los contengan integrados en el proceso de fabricación de conformidad con la norma NMX-C-414-ONNCCE, para garantizar sistemáticamente la uniformidad, y por consecuencia, la resistencia y durabilidad del concreto. (Norma mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2004.)

2.3.- Resistencia del concreto

Cuando se estudian los procedimientos para dosificar mezclas de concreto, se recomienda hacer mezclas de prueba, con el fin de determinar las proporciones del concreto que cumplan con las características deseadas, para ser empleadas en la construcción. Sin embargo, esto no significa que el concreto hecho en obra o en la planta vaya a tener una resistencia uniforme e igual a la determinada con base a las mezclas de prueba.

Lo anterior se debe a que el concreto es un material esencialmente heterogéneo, porque sus componentes tienen características que no son constantes. No solo son los materiales los causantes de las variaciones en la calidad del concreto, también influye su fabricación, la forma de mezclarlo, su transporte y colocación, la compactación a que se someta y el curado que se le proporcione, además de considerar el proceso que se efectúe en los métodos de ensaye, entre otras causas. Por lo tanto, dichas variaciones en las resistencias pueden orientarse a dos causas fundamentales:

- 1) las variaciones propias del concreto, que derivan de sus agregados y considera los siguientes aspectos:
 - a. variación en la relación agua/cemento,
 - b. deficiencia en el control de agua,

- c. deficiencia en el control de humedad de los agregados,
 - d. variaciones en el consumo de agua debidas a la variación en la granulometría de los materiales y a su falta de uniformidad,
 - e. variaciones en las características y proporciones de los componentes (agregados gruesos, finos, cemento, puzolanas, aditivos, etc.),
 - f. variaciones por efecto de transporte, colocación y compactación,
 - g. variaciones en la temperatura y curado,
 - h. las variaciones en los procedimientos de ensaye;
- 2) variaciones en los procedimientos de ensaye. Considera los siguientes aspectos:
- a) procedimientos de muestreo incorrectos,
 - b) técnicas de fabricación no uniforme,
 - c) compactación variable,
 - d) deficiencia en el manejo de muestras,
 - e) deficiencias de curado (temperatura y humedad),
 - f) cabeceo incorrecto de los especímenes,
 - g) deficiencia en la velocidad de la aplicación de la carga.

Uno de los principales criterios que debe cuidarse es el contenido de agua en las mezclas de concreto, ya que no solo afecta la trabajabilidad de las mezclas sino también las resistencias; la relación agua cemento es importante para conservar la resistencia especificada desde el proyecto. Así también, el vigilar el grado de saturación de sus agregados será siempre un factor importante en las variaciones que pueden experimentarse. El empleo de aditivos a la mezcla de concreto puede sumar problemas de variación en las resistencias por lo que se deberá controlar el empleo de acelerantes, retardantes, puzolanas y agentes inclusores de aire.

Es importante recordar que las discrepancias en las variaciones de la resistencia del concreto obtenidas en el laboratorio dependen de las condiciones del muestreo, la fabricación, el curado y el ensaye de los especímenes

considerando que las condiciones estándares de calidad durante el desarrollo de la obra son diferentes, debidas al modo de ejecución de estas actividades y del personal de obra.

Los métodos de ensaye correctos reducirán éstas variaciones y por lo tanto deben observarse procedimientos de ensaye apegados a las normas ACI, ASTM, y NMX y deberán seguirse estrictamente.

Cabe mencionar que el emplear equipo de laboratorio adecuado (calibrado y verificado con periodicidad) influirá en la precisión de los resultados e indicarán la resistencia potencial de una estructura más que su resistencia real.

2.4.- Métodos de prueba

Como primer paso de los métodos de prueba a emplearse, se debe considerar la elaboración de los cilindros o especímenes de concreto. Esto se presenta en la siguiente subsección.

2.4.1.- Elaboración de cilindros de concreto

La resistencia a la compresión del concreto se mide para asegurar que la mezcla entregada cumpla con los requisitos de las especificaciones de la obra y para el control de calidad. Para probar la resistencia a la compresión del concreto se elaboran especímenes cilíndricos de prueba de 15x30 cm (relación 2:1 altura: diámetro) y se almacenan en la obra hasta que el concreto se endurece de acuerdo con los requisitos de la norma NMXC160, elaboración y curado en obra de especímenes de concreto (ASTMC31, Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de prueba de concreto en el campo).

Al elaborar los cilindros para la aceptación del concreto, el técnico de campo, certificado mediante el programa para pruebas en el campo, grado 1, del ACI, debe probar otras propiedades del concreto fresco, como la temperatura, el revenimiento, la densidad, peso unitario y el contenido de aire. Un resultado de

prueba siempre es el promedio de al menos, dos especímenes probados a la misma edad. Puede hacerse un conjunto de dos a seis cilindros a partir de la misma muestra de concreto como mínimo por cada 115 m³ de concreto colado.

Los cilindros de concreto para pruebas se usan para:

- Pruebas de aceptación para resistencias especificadas.
- Verificar la dosificación del concreto.
- Control de calidad por el productor del concreto.

Cualquier desviación respecto a los procedimientos estándares dará como resultado una resistencia medida más baja. Los resultados de prueba de baja resistencia debido a procedimientos que no están de acuerdo con los estándares generan problemas, costos y retrasos excesivos al proyecto. Los resultados de la resistencia de cilindros curados en la obra se usan para:

- ✓ Determinar el momento en que se puede permitir que una estructura sea puesta en servicio.
- ✓ Evaluar la suficiencia del curado y protección del concreto en la estructura.
- ✓ Programar la remoción de los moldes y de los puntales.

Los requisitos de curado para cilindros curados en la obra, son diferentes a los exigidos para los curados de manera estándar y no deben confundirse. Además. Se deben almacenar para evitar daño y mantener la humedad durante la transportación. El tiempo de viaje desde el sitio de la obra hasta el sitio del laboratorio no debe exceder de cuatro horas ya que los especímenes requieren de hidratación continua después de alcanzar el fraguado final, lo cual ocurre después de los primeros 45 minutos de haberse colado un elemento.

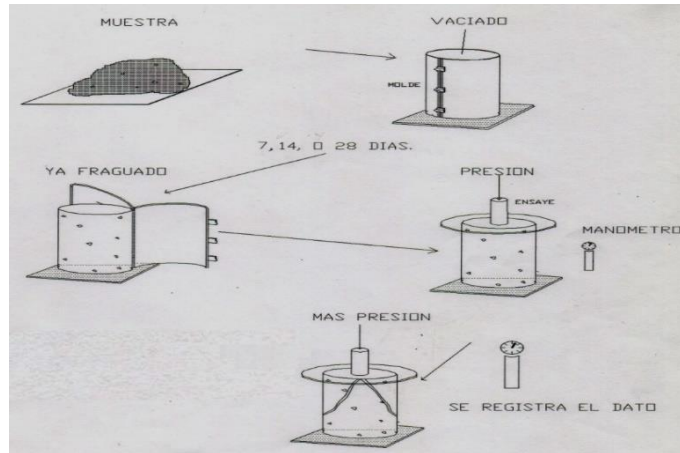


Figura 2.1.- Croquis simplificado del muestreo y ensayo para cilindros de concreto.

El ensayo consiste en someter a los especímenes a una carga de compresión directa axial constante y ascendente, hasta llevar la muestra a la falla total, registrando los valores de carga en un manómetro con aguja fijadora (Fig. 2.1).

La resistencia se obtiene tomando el registro de la carga máxima soportada, y se divide entre el área promedio de la sección transversal, que será un valor constante para el concreto. Los resultados se proporcionan en kg/cm^2 y con aproximación de $\pm 1 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

Las discrepancias en el muestreo, la fabricación, el curado y el ensayo de las muestras pueden ocasionar indicaciones de variaciones en las resistencias que no existen en el concreto de la estructura.

2.5.- Análisis estadístico

Al ser el concreto un material heterogéneo, está sujeto a la variabilidad de sus componentes, así como a las dispersiones adicionales por las técnicas de elaboración, transporte, colocación y curado en obra. Por lo anterior, es natural pensar que para el diseño estructural de concreto se debe emplear el control estadístico y considerar métodos de diseño probabilísticos.

En proyectos controlados la resistencia del concreto o de las muestras de prueba, sigue, con gran aproximación, la distribución probabilística Normal o gaussiana.

Así, se requiere entonces del conocimiento y manejo de esta función de distribución de probabilidad, la cual se realiza a continuación.

Para realizar un análisis estadístico se parte de un universo de datos (también llamada población), el cual contiene toda la información posible a recabar. Sin embargo, la cantidad de ésta puede ser muy grande, por lo que puede resultar impráctica de manejar (por cuestiones de costo y tiempo). En estas condiciones, es mejor emplear muestras representativas de la población que nos permitan predecir los resultados de la misma ahorrando tiempo y dinero, pero garantizando que tales resultados son confiables. La estadística establece que para este fin es suficiente manejar muestras de tamaño 30, es decir, que cada muestra cuente con 30 elementos para garantizar la confiabilidad del estudio.

La descripción de una muestra se puede realizar mediante medidas descriptivas como el uso de histogramas de frecuencias, o de frecuencias relativas, diagramas de pastel, entre muchos otros. El uso de éstos tiene la desventaja de que son subjetivos pues dependen de la persona que los realiza. Por este motivo es necesario el uso de medidas numéricas descriptivas que eliminen la subjetividad y permitan su uso para cualquier estudio. Estas medidas son de dos tipos: de tendencia central y de dispersión. Dentro de las primeras se encuentran la media, la mediana y la moda, de las cuales la primera es la que tiene la mayor aplicación y uso práctico en este trabajo; mientras que las medidas de dispersión más empleadas en el estudios controlados de la resistencia de concreto, son la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación¹.

¹ Existen muchas más medidas de dispersión, como lo son los percentiles, los cuartiles, etc., sin embargo, para los fines del presente trabajo, los mencionados son suficientes para obtener los resultados requeridos. Es importante mencionar que la notación empleada para las definiciones de las medidas

Supongamos que la muestra tiene n elementos, entonces la media, \bar{x} , se define como el cociente de la suma de todos los elementos, con el número de elementos, es decir,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.1)$$

La interpretación de la media es que representa el valor alrededor del cual se está agrupando la mayoría de los datos de la muestra.

La varianza, s^2 , se define como el cociente de la suma del cuadrado de la diferencia del i -ésimo dato con la media, y la diferencia del número de datos con 1. Esta forma de definir la varianza resulta complicada, por lo que es mucho más práctico emplear la fórmula que la define, la cual es:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}. \quad (2.2)$$

La desviación estándar, s , se define como la raíz cuadrada de la varianza, y se interpreta como en error estadístico en la medición. La expresión que permite calcular la desviación estándar es:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}. \quad (2.3)$$

Finalmente, el coeficiente de variación, CV , convierte a la desviación estándar en un porcentaje, por lo que se puede entender como el error porcentual estadístico de la medición. La expresión matemática que se emplea para calcularlo es:

descriptivas empleadas corresponde a la muestra y no a la población, en cuyo caso se emplean, por notación, letras del alfabeto griego.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \%. \quad (2.4)$$

Como se mencionó antes, la distribución de probabilidad a emplear para realizar la evaluación de la calidad de los concretos empleados en obra mediante el ensayo de muestras es la normal o gaussiana. La función de distribución de probabilidad gaussiana está dada por la siguiente expresión:

$$f(\bar{x}, s, x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} s} e^{-(x_i - \bar{x})^2/2s^2}, \quad (2.5)$$

La cual se representa geoméricamente en la siguiente figura.

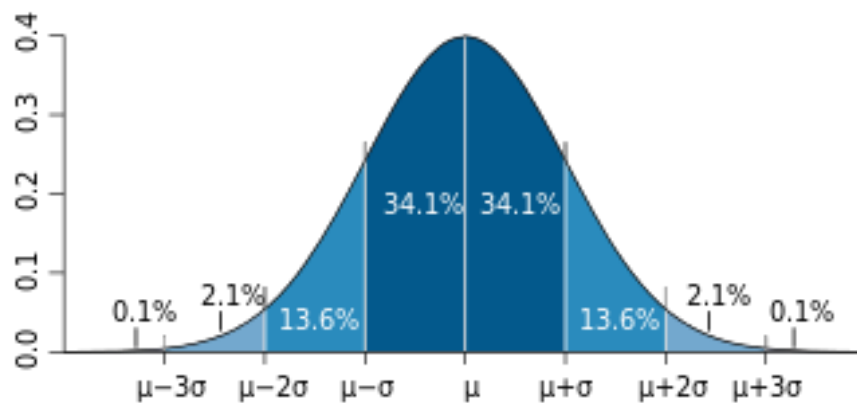


Fig. 2.2.- Grafica de distribución de probabilidad normal estándar.

La distribución normal mostrada en la figura anterior, representa la distribución de probabilidad de obtener una muestra en un valor determinado. En el eje horizontal se grafican los valores que la variable aleatoria x_i adquiere y en el eje vertical la probabilidad de que tal valor ocurra. De acuerdo con la teoría de probabilidades, se encuentra que el área bajo la curva, también llamada campana de Gauss, es 1, y las probabilidades se distribuyen de acuerdo a los diferentes valores de la variable aleatoria x_i . En estas condiciones se puede dividir el área bajo la curva en zonas alrededor de la media, las cuales representan diferentes

valores de probabilidad de que ocurra la variable aleatoria. Para esto se emplea el valor de la desviación estándar y de acuerdo con una regla empírica se encuentra que alrededor de la media y con una dispersión de \pm una desviación estándar, esto es, $(\bar{x} - s, \bar{x} + s)$, se genera el intervalo de la forma $(\bar{x} - s, \bar{x} + s)$ con centro en \bar{x} , existe aproximadamente un 68 % de probabilidad de que la variable aleatoria x_i adquiera un valor dentro de ese intervalo. Para el intervalo $(\bar{x} - 2s, \bar{x} + 2s)$ la experiencia muestra que la probabilidad de que la variable aleatoria adquiera un valor dentro del intervalo dado es de aproximadamente el 95 % y finalmente, para el caso de $(\bar{x} - 3s, \bar{x} + 3s)$ se encuentra que existe una probabilidad aproximada del 99.99 % de encontrar a la variable aleatoria en el intervalo con ancho $3s$.

Sin embargo, existe un margen de subjetividad al manejar los valores de probabilidad de encontrar a la variable aleatoria x_i en los intervalos dados. Adicionalmente, un problema adicional es que las aproximaciones presentadas no permiten determinar otros valores de probabilidad. Para soslayar este problema se emplea un procedimiento matemático que consiste en normalizar tanto la media como la desviación estándar, es decir, asociar nuevos valores de tal manera que permitan calcular cualquier probabilidad de encontrar a la variable aleatoria en cualquier intervalo. El procedimiento consiste en convertir a la media en cero, es decir, hacer $\bar{x} = 0$ y volver a la desviación estándar 1, esto es, $s = 1$. El proceso recibe el nombre de estandarización y para realizarlo se realiza el siguiente cambio:

- Se introduce la variable z , la cual va a sustituir a la variable aleatoria x_i , que se define como sigue:

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \tag{2.6}$$

Con esto, los valores de $\bar{x} \Rightarrow z = 0$ y los valores de $x_i (z)$ van de 0 a $\pm\infty$, mientras que $s \in (0 \pm 3)$ para probabilidades entre 0 y 0.99².

- En estas condiciones, la nueva distribución de probabilidad que antes estaba centrada en \bar{x} , ahora tiene su centro $z=0$ y los valores de s que antes dependían de los valores de x_i , ahora tendrán habitualmente valores entre 0 y ± 3 .
- A esta nueva distribución de probabilidad gaussiana en que se han normalizado los valores de la media y de la desviación normal estándar se le denomina Distribución Normal Estándar.
- Para verificar la regla empírica mencionada antes, los valores de $\bar{x} \pm s$, $\bar{x} \pm 2s$ y $\bar{x} \pm 3s$ se convierten, en la distribución normal estándar en valores de z iguales a ± 1 , ± 2 y ± 3 , respectivamente, que de acuerdo con la tabla de probabilidad del Anexo A1, arroja las probabilidades de 0.6826, 0.9544 y de 0.9974, también respectivamente, con lo cual le quita toda la subjetividad a la regla empírica presenta antes. Adicionalmente, con la tabla mencionada, se pueden entonces calcular la probabilidad para cualquier valor de la variable aleatoria x_i mediante el proceso de estandarización o cambio a la variable aleatoria z .

2.6.- Notación de la norma ACI 214RS-14

Con la finalidad de analizar los resultados de las diferentes pruebas de compresión simple realizadas a los especímenes de concreto empleando el tratamiento estadístico expuesto en la sección anterior, se requiere emplear la notación apropiada apegada a la norma ACI 214RS-11. Para esto se presenta a continuación una tabla con la correlación entre la simbología matemática y la de la norma.

² Para probabilidades mayores a 0.99, se suelen emplear valores de s mayores a 3. Esto se puede observar en la tabla de probabilidad de la distribución normal estándar mostrada en el Anexo A1.

Notación	
Matemática	Normativa
n : número de elementos de la muestra	n : número de pruebas ensayadas
\bar{x} : promedio del número de elementos de la muestra	\bar{x} : promedio de los resultados de las pruebas
s : desviación estándar de la muestra	σ : desviación estándar
cv : coeficiente de variación	v : coeficiente de variación
	f^c : resistencia especificada
	f_{cr} : resistencia promedio requerida para asegurarse de que solo aquella porción permisible de pruebas caerá por debajo de la resistencia especificada
	Δ : ancho de clase
s^2 : varianza	
$f(x, s, x_i)$: función de distribución de probabilidad gaussiana	
	t : Multiplicador constante para la desviación estándar (σ) que depende del número de pruebas que se espera caigan por debajo de f^c

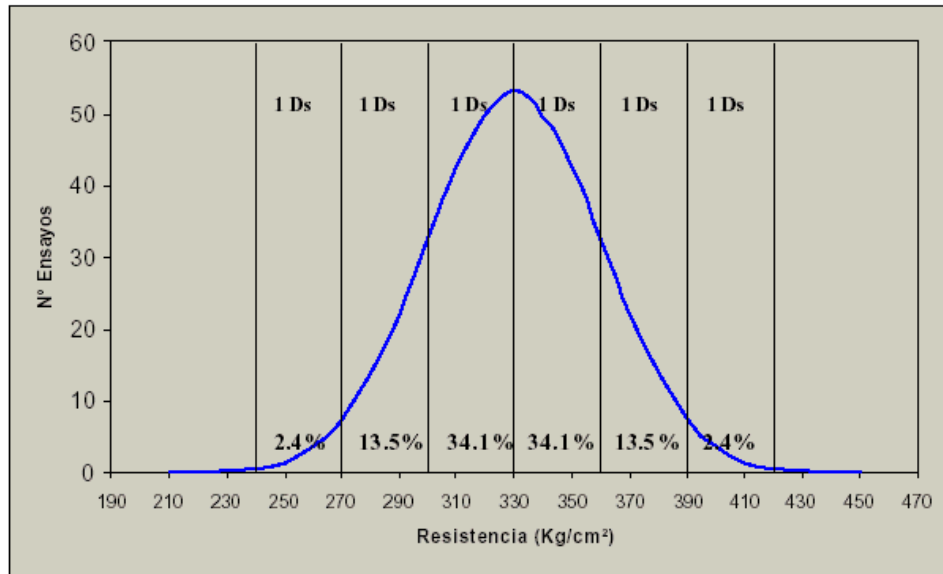


Figura 2.3.- Curva de distribución normal (ACI 214RS-11).

A manera de ejemplo en las Figuras (2.3) y (2.4) se muestran los posibles usos de las variables comparadas, según la norma.

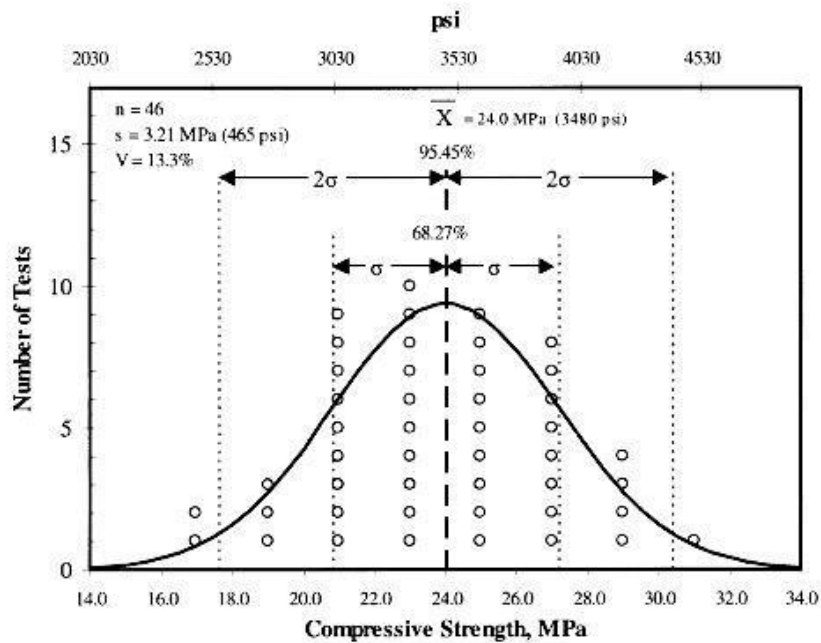


Figura 2.4.- Curva de distribución normal de frecuencias (ACI 214RS-11). El área total limitada por la curva y el eje x vale 1.

Hoy en día está demostrado que el comportamiento de la resistencia del concreto a compresión se ajusta a la Distribución Normal (Campana de Gauss), Ec. (2.5), pero que para fines prácticos se puede escribir como

$$f(\bar{x}, s, x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x_i - \bar{x})^2/2s^2}, \quad (2.7)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.8)$$

donde e^x es la función exponencial de base e ,

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2.9)$$

$$\sigma = \dots \text{ ó } \dots$$

$$\mu = \dots$$

$$\Delta = \dots (5, 10,$$

$$\text{ó } 15) \dots$$

Al graficar la ecuación anterior obtenemos una gráfica especial el cual tiene algunas características:

- Es simétrica con respecto a μ (la media).
- Es asintótica respecto al eje de las abscisas.

- La forma y tamaño va a depender de σ

El siguiente gráfico muestra la curva normal para diferentes valores de σ , teniendo un mismo μ entonces podemos concluir que a medida que aumenta la

σ , el grado de dispersión que existe entre las resistencias de las probetas es mayor y por tanto tienden a alejarse del promedio (ver fig. 2.4):

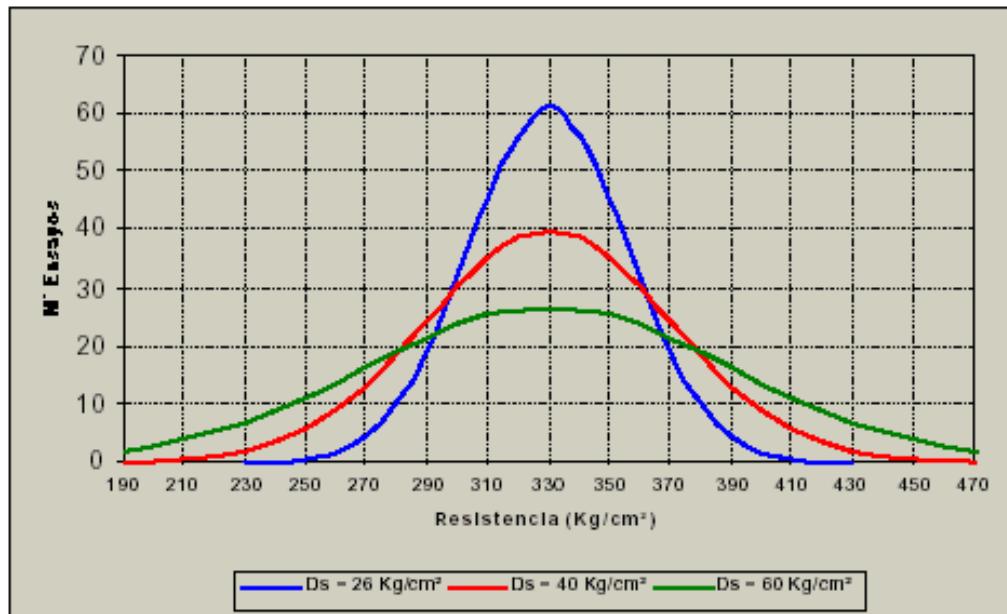


Figura 2.4.- Curva normal de frecuencias para diferentes distribuciones de resistencia (ACI 214RS-11).

Cartas de control.

Estas cartas se manejan normalmente en la obra y son emitidas por la supervisión son muy prácticas (*normas N.LEG.3 y N.LEG.4 ejecución de supervisión de obras*). Son gráficas como las mostradas en la fig. (5) en las que en uno de los ejes se muestran los valores del parámetro estadístico y en el otro se indica el número de muestra, según el tipo de formato que se utilice, asociado a la característica medible o contable bajo control. En ella se grafican los valores de dicho parámetro obtenidos de cada muestra; uniendo con líneas los puntos dibujados se obtiene una poligonal abierta denominada *gráfica de tendencias*; estos límites estadísticos, corresponden exclusivamente al proceso de producción que se controla, de tal forma que es apreciable cuando los valores de los parámetros estadísticos obtenidos están dentro o fuera de la zona de aceptación y por lo tanto identificar si se tienen variaciones debidas a causas aleatorias.

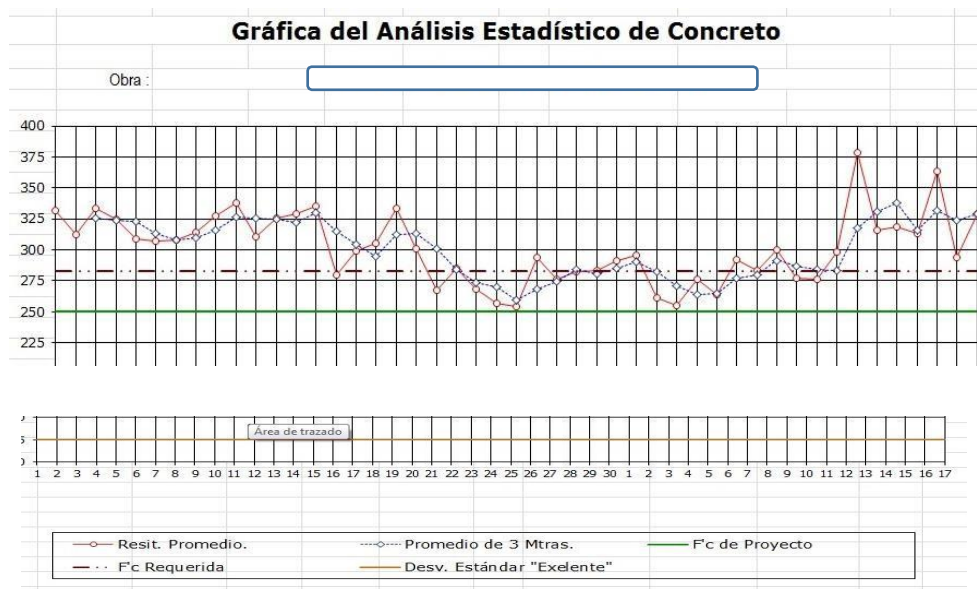


Figura n° 2.5.- Cartas de control estadístico o gráficas de tendencias.

De acuerdo con la curva normal de frecuencias, donde existe un buen un buen control, los valores de la resistencia estarán agrupados cerca de la media y la curva de Gauss será alta y estrecha.

Conforme aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se apartan y la curva se vuelve baja y alargada.

Las características de estas curvas se pueden definir matemáticamente y es posible calcular ciertas funciones útiles de la resistencia con las siguientes expresiones:

Promedio (\bar{x}). La resistencia promedio de todas las pruebas individuales:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (2.10)$$

La ecuación anterior se refiere a que una prueba se define como la resistencia promedio de todos los cilindros de la misma edad elaborados de una muestra tomada de una única mezcla de concreto.

Desviación estándar (σ). La medida de dispersión más generalmente reconocida, es la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias, respecto a la resistencia promedio, divididas entre el número de resultados menos uno. Esta estadística es conocida como la desviación estándar y puede considerarse como el radio de giro alrededor de la línea de simetría del área bajo la curva de distribución de frecuencia de los datos de resistencia, tal como se muestra en la figura (2.3).

El mejor cálculo de la Desviación estándar (σ), basado en una cantidad finita de datos, se obtiene mediante la ecuación 2.11, o mediante su equivalente algebraica, la ecuación 2.12. Esta última ecuación es preferible para propósitos de cálculo porque es más sencilla y evita problemas de errores de aproximación:

$$\sigma = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (2.11)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.12)$$

Coeficiente de variación (v). La desviación estándar expresada como porcentaje de la resistencia promedio, se llama coeficiente de variación:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad (2.13)$$

Intervalo (R). El intervalo es la estadística que se obtiene restando el menor de un conjunto de números del más alto del grupo. Por lo tanto, el intervalo dentro de la prueba se obtiene restando la menor de las resistencias del conjunto de cilindros promediada, para formar una prueba a partir de la más alta del grupo.

El intervalo dentro de la prueba es útil en el cálculo de la desviación estándar inherente a la prueba.

Variación inherente a la prueba (tabla I). - La variación en la resistencia del concreto dentro de una prueba única se obtiene calculando la variación de un grupo de cilindros elaborados de una muestra de concreto tomada de una mezcla determinada. Es razonable suponer que una mezcla de prueba de concreto es homogénea y que cualquier variación entre dos cilindros compañeros, elaborados de una muestra determinada es ocasionada por las variaciones en la fabricación, el curado y la prueba.

N° de cilindros	d	1/d
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946

7

2.704

0.3698

8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

Tabla I.- Factores para calcular la desviación estándar inherente a la prueba. (ACI 214RS-11).

No obstante, una única mezcla de prueba de concreto, no proporciona los datos suficientes para el análisis estadístico, y se requieren cilindros compañeros de por lo menos diez muestras de concreto a fin de establecer los valores

confiables para σ . La desviación estándar dentro de la prueba y el coeficiente de variación puede calcularse convenientemente como sigue:

$$\sigma_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} * 100 \quad (2.14)$$

$$\sigma_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} * 100 \quad (2.15)$$

Dónde:

$$\sigma_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} * 100$$

$$\sigma_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} * 100$$

$$\sigma_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} * 100$$

CAPÍTULO 3.- MARCO METODOLÓGICO.

El presente capítulo proporciona una introducción a la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del concreto. Los procedimientos descritos se aplican a los resultados de ensayos de resistencia a la compresión que requieren ACI 301, ACI 318, especificaciones y reglamentos similares. Los conceptos estadísticos que se describen son aplicables al análisis de otros resultados de ensayos comunes del concreto, que incluyen la resistencia a la flexión, el asentamiento, el contenido de aire, la densidad, el módulo de elasticidad, y demás ensayos que se usan para evaluar el concreto y sus componentes. La presente guía supone que los resultados de los ensayos al concreto se ajustan a una distribución normal. La mayoría de los proyectos de construcción en los Estados Unidos y Canadá requieren un muestreo de rutina del concreto y de la fabricación de los cilindros estándar. Estos cilindros generalmente se fabrican a partir de una muestra de concreto tomada, de la descarga de un camión o de una tanda de concreto. Los cilindros se moldean y curan siguiendo los procedimientos estándar de ASTM C31/C31M y se someten a ensayo de acuerdo con los requisitos de ASTM C39/C39M. Si el concreto se prepara, cura y ensaya de esta forma, los resultados corresponden a la resistencia a la compresión del concreto curado bajo condiciones controladas, no es la resistencia en sitio del concreto dentro de la estructura. Se espera que, considerando la uniformidad de las condiciones de curado, estos cilindros tendrán esencialmente la misma resistencia, lo cual es indicativo de un concreto con propiedades congruentes. Estos son los cilindros que se usan para fines de

aceptación. Inevitablemente, los resultados de los ensayos de resistencia varían. Las variaciones en la resistencia medida del concreto se originan a partir de dos fuentes:

- Variaciones entre tandas que pueden ser el resultado de cambios en los ingredientes mismos o las dosificaciones de los ingredientes, la relación agua-materiales cementantes (a/mc), el mezclado, el transporte, la colocación, el muestreo de la tanda, la consolidación, y el curado; y

- Variaciones dentro de la tanda, también conocidas como variaciones entre ensayos, que se deben principalmente a las diferencias en el muestreo de la tanda, la preparación del espécimen y los procedimientos de ensayo.

Existen diferencias en las tandas de cada mezcladora individual entre el frente y el fondo de la mezcladora, como se reconoce en ASTM C94/C94M. Por esta razón, los técnicos de campo de Nivel 1 de ACI se capacitan para hacer muestras compuestas a partir de las porciones centrales de las cargas. Se pueden derivar conclusiones sobre la resistencia a la compresión del concreto a partir de una serie de ensayos. Las características de la resistencia del concreto se pueden estimar en forma precisa cuando se hace un número adecuado de ensayos de acuerdo con prácticas y métodos estándar de ensayo. Los procedimientos estadísticos proporcionan valiosas herramientas al evaluar los resultados del ensayo de resistencia. La información derivada de ellos también es valiosa para refinar los criterios de diseño y las especificaciones. La presente guía versa sobre las variaciones en la resistencia del concreto y presenta procedimientos estadísticos útiles para interpretarla con respecto a ensayos y criterios de

aceptación especificados. Para que los procedimientos estadísticos que se describen en la presente guía sean válidos, los datos se deben originar a partir de muestras obtenidas a través de un plan de muestreo aleatorio. El muestreo aleatorio consiste en que cada volumen de concreto tiene una posibilidad igual de ser seleccionado. Para asegurar esta condición, la selección se debe hacer utilizando un mecanismo objetivo, por ejemplo, una tabla de números aleatorios. Cuando se seleccionan las muestras de tandas con base en el juicio del muestreador, es posible introducir sesgos que invalidarán el análisis. Natrella (1963), Box et al. (2005), y ASTM D3665 examinan la necesidad del muestreo aleatorio, y proporcionan una breve y útil tabla de números aleatorios.

Variaciones entre tandas	Variaciones dentro de la tanda
<p><i>Variaciones en las características y las dosificaciones de los ingredientes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Agregados; • Materiales cementantes, incluyendo las puzolanas; y • Aditivos. <p><i>Cambios en la relación (a/mc) causados por:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Control deficiente del agua; • Variación de la humedad de los agregados en su sitio de almacenamiento; • Variación de las mediciones de la humedad de los agregados; y • Remezclado. <p><i>Variaciones en el mezclado, transporte, y muestreo:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo y velocidad de mezclado; • Distancia entre la planta y sitio de colocación; • Condiciones del camino; e • Incapacidad de obtener una muestra representativa de la tanda. <p><i>Variaciones en la colocación, y consolidación*</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Canal, bomba, o carretilla; • Vibración interna o externa; y • Diferentes operadores. <p><i>Variaciones en la temperatura y el curado del concreto*</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Estacional; • Humedad del ambiente; y • Velocidad del viento. 	<p><i>Inadecuado muestreo de la muestra de la tanda.</i></p> <p><i>Variaciones debidas a las técnicas de fabricación:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Condiciones deficientes; • Herramientas incorrectas; • Encofrados de mala calidad, dañados o distorsionados; • Colocación y consolidación deficientes; y • Manejo incorrecto de muestras de ensayo frescas. <p><i>Diferencias en el curado:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Demoras en el inicio del curado inicial; • Variación de temperatura; • Control de humedad variable; • Curado inicial deficiente; • Demoras en el transporte de los cilindros al laboratorio; • Manejo descuidado de los cilindros durante el transporte; y • Curado final inadecuado. <p><i>Variaciones en los ensayos de las muestras:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Operario no certificado; • Preparación de la superficie del espécimen; • Equipo de ensayo inadecuado o no calibrado; • Tasa de carga no estándar; y • Manejo deficiente de los registros.

*Se aplica a la resistencia in situ de la estructura.

Tabla III.- Fuentes principales de variación de resistencia. (norma ACI 214RS-11)

3.1.- Normas de control.

La decisión relativa en cuanto a que si la desviación estándar o el coeficiente de variación es la medida apropiada de dispersión que debe utilizarse en determinada situación, depende de cuál de las dos medidas es la constante más cercana a las características de resistencia, a través de un intervalo de resultados, de esa situación en particular. La siguiente información indica que la desviación estándar permanece como una constante más aproximada, en especial en resistencias superiores a 200 kg/cm². Se considera más aplicable el coeficiente de variación para las variaciones dentro de la prueba.

La tabla n° IV nos muestra la variabilidad que puede esperarse de las pruebas de resistencia a la compresión en proyectos sujetos a diferentes grados de control.

Tabla n° IV.- Normas para el control del concreto (ACI 214RS-11).

Variación total (del universo).

Desviación estándar (kg/cm²).

Clase de operación:	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en campo	<25	25-35	35-40	40-50	>50

Variación en las pruebas (ensayos).

Coeficientes de variación (%).

Clase de operación:	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en campo	<3	3-4	4-5	5-6	>6

3.2.- Criterios.

Aspectos generales.

En el análisis estadístico aplicable conforme a la norma ACI 214RS-11 para evaluar la calidad de los concretos, debe calcularse la desviación estándar dentro

de la prueba (σ_1), y utilizar el factor $(1/d) = 0.8865$ de la tabla n° I, en virtud de que el promedio de las resistencias de cada muestra es de dos cilindros compañeros en todos los casos que refiere el presente trabajo.

Para calcular la resistencia requerida (F_{cr}) se utiliza la formula

$$f_{cr} = f'_{c} + (\sigma * \sigma)$$

Dónde: $\sigma = 1.28$ -----Tabla n° III, ya que al no diseñar la resistencia de los concretos en los que se pretende evaluar la calidad, debemos suponer el caso más crítico en las posibilidades de que las pruebas caigan por debajo del límite inferior.

Tabla n° V.- (ACI 214RS-11).

Porcentaje de pruebas caídas de los ensayos	Probabilidad de que caigan por debajo del límite inferior	
40	3 en 10	0.52
50	2.5 en 10	0.67
60	2 en 10	0.84
68.27	1 en 6.3	1.00
70	1.5 en 10	1.04
80	1 en 10	1.28
90	1 en 20	1.66
95	1 en 40	1.96
95.45	1 en 44	2.00
98	1 en 100	2.33
99	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

Para observar el grado de calidad en el control de los concretos se utilizará la tabla n° IV en relación a la desviación estándar de una población finita y al coeficiente de variación en los ensayos.

Haciendo referencia a los gráficos de distribución de resistencias cabe aclarar que teóricamente, las colas de la curva normal nunca tocan el eje de las abscisas, sino que se extienden infinitamente en ambas direcciones. Tanto el supuesto de rango infinito como el de continuidad permiten asegurar que, en la práctica, las observaciones jamás se distribuyen de manera perfectamente normal. Sin embargo, muchas distribuciones empíricas se acercan a la normalidad, aunque sean discretas. Con frecuencia esta aproximación es tan cercana a la normalidad que se puede tratar como normal una distribución empírica sin menoscabo de la precisión, pero se hace necesario de alguna manera ajustar una curva para delimitar las resistencias que quedan dentro y fuera del área bajo la curva. Esto, por un lado, y por el otro, estandarizar los valores de “x” para definir los porcentajes de área.

“La transformación z”, en estadística se entiende por transformación de un conjunto de operaciones aritméticas que se realizan sobre los valores de una variable para obtener un nuevo conjunto de valores. El procedimiento conocido como estandarización, consiste en convertir datos (aritméticos) como los que hasta ahora hemos manejado, en datos estándar.

3.3.- Procedimiento.

1).- Se resta la \bar{x} de cada dato de x

2).- Se divide la diferencia $(x - \bar{x})$ entre la desviación estándar de la

distribución.

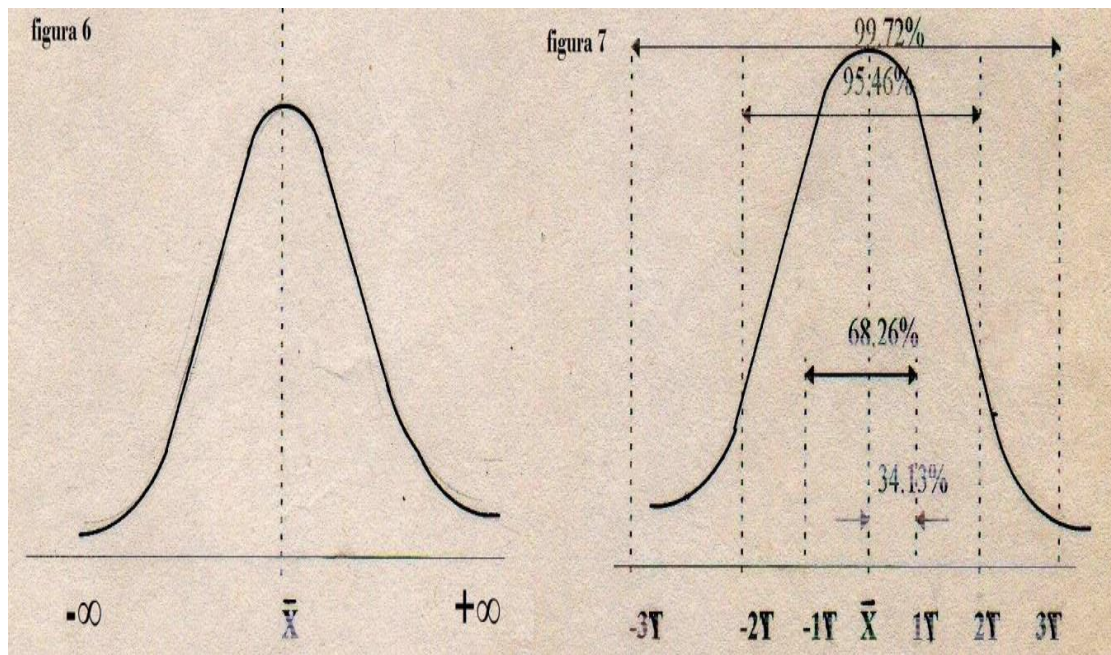
Simbólicamente un dato estandarizado está dado por $\frac{x - \bar{x}}{\sigma}$, así al

convertir todas las categorías en datos $\frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ ($\frac{x - \bar{x}}{\sigma}$), obtenemos una distribución nueva en la cual la media y la desviación estándar valen siempre cero y uno respectivamente.

La distribución normal, es una distribución acampanada y continua, como se ve en la figura (6). Debido a su continuidad, se traza como una curva suave y

no como histograma. Ahora bien, puesto que la μ y la σ varían de una distribución a otra, no hay sino muchas distribuciones normales. Lo que les da el carácter normal es que tienen la misma proporción de área bajo la curva en ciertas ordenadas. Esto significa que si dibujamos las líneas verticales en +1 y -1 desviaciones estándar, por ejemplo, en dos distribuciones normales cualesquiera, la proporción con respecto a la distribución total limitada por las líneas verticales será la misma en ambas distribuciones.

Así que podemos buscar la proporción o parte del área total bajo la curva que será la misma en todas las distribuciones (figura 7).



Figuras 7.- Distribución acampanada y continua con porcentajes de área.

La utilidad de una distribución “z” que tiene una forma normal, ha hecho que se construyan tablas que muestran el área bajo la curva limitada por dos ordenadas cualesquiera. Estas tablas (Anexo) pueden ser usadas en todo conjunto de datos distribuidos normalmente, luego de haber sido estandarizados. II.3.1.- Aplicación del método de la desviación estándar.

3.4.- Aplicación del método de la desviación estándar.

En esta parte deben proporcionarse los datos de los resultados de pruebas por cada frente de obra, y el análisis secuencial en un formato que registra las operaciones estadísticas del universo de muestras permisibles de acuerdo con la normatividad empleada, observando las características de los concretos

solicitados y la forma en que fueron seleccionadas las muestras ensayadas (promedio de dos cilindros compañeros).

Ejemplo ilustrativo para la aplicación del método estadístico ACI 214RS-11.

Asumiendo los resultados de prueba en especímenes de concreto, tenemos en el siguiente Formato (opcional):

ELEMENTO ANALIZADO:								
RESULTADOS DE ENSAYE DE ESPECÍMENES DE CONCRETO A COMPRESIÓN SIMPLE								
Muestra	Resistencia Promedio	Consecutivo de 3 Mtras.	F' c de Proyecto	F' c Requerida	Desviación Estándar	Cliente:.....		
1	332		250			Obra:.....		
2	312		250			Localización:.....	Exp.	
3	334	326	250			Fecha:.....	Clave	
4	325	324	250			Cia. Premezcladora:.....		
5	309	323	250			Periodo de Ensaye ; De :		
6	307	314	250			a :		
7	308	308	250			Especificaciones		
8	314	310	250			NMX-C-155-ONNCE-2004		
9	327	316	250			Clase de Concreto	Convencional	
10	338	326	250			F'c de Proyecto Kg / cm ²		
11	311	325	250			Promedio Kg / cm ²		
12	326	325	250			Desviación Estándar		
13	329	322	250			Valor Máximo		
14	335	330	250			Valor Mínimo		
15	280	315	250			F'c R		
16	299	305	250			Numero		
17	305	295	250			Valores inferiores a F' c %	10 %	Máximo
18	334	313	250			Valores inferiores a F' c (-35 kg/cm ²) %	1 %	Máximo
19	301	313	250			Desviación Estándar.....	Excelente	0 - 25
20	267	301	250			Desviación Estándar.....	Muy Buena	25 - 35
21	285	284	250			Desviación Estándar.....	Buena	35 - 40
22	268	273	250			Desviación Estándar.....	Aceptable	40 - 50
23	257	270	250			Desviación Estándar.....	Pobre	Mas de 50
24	254	260	250					
25	294	268	250					
26	276	275	250					
27	282	284	250					
28	283	280	250					
29	291	285	250					
30	296	290	250					
1	261	283	250					
2	255	271	250					
3	276	264	250					
4	264	265	250					
5	292	277	250					
6	283	280	250					
7	300	292	250					
8	277	287	250					
9	276	284	250					
10	298	284	250					
11	379	318	250					
12	316	331	250					
13	319	338	250					
14	313	316	250					
15	364	332	250					
16	294	324	250					
17	329	329	250					

Se concentra la información obtenida del laboratorio en una “hoja de cálculo” diseñada en forma convencional para los elementos de la estructura en que se pretende controlar la calidad, donde las características que se analizan son las siguientes:

F'c de proyecto = 250 kg/cm²

Concreto premezclado

Cliente, obra y localización (datos requeridos).

Y finalmente para control se enuncia el elemento en análisis.

Procedimiento de cálculo:

Se obtiene la suma de todos los resultados promedio de cada dos especímenes de prueba ensayados $\bar{x}_1 = 332$; $\bar{x}_2 = 312$; $\bar{x}_3 = 334$; $\bar{x}_4 = 325$ y en $n = 329$ en este caso la suma de 47 especímenes es $\Sigma = 14175$, y en seguida se obtiene el promedio:

$$\bar{x} = \frac{332+312+334+325\dots+329}{47} = 302 \quad \text{-----aplicando la ecuación (2-10)}$$

anteriormente⁴⁷ enunciada.

Posteriormente se aplica la ecuación (2.11):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(332 - 302)^2 + (312 - 302)^2 + (334 - 302)^2 \dots + (329 - 302)^2}{47 - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{36343}{46}} = \sqrt{790.078} = 28.1$$

Luego con esta desviación obtenida, revisamos la tabla normativa n° II del ACI 214R-11 y observamos que se encuentra en el rango de 25-35 y por lo tanto la calidad de este universo de 47 muestras de concreto es “MUY BUENA”.

Se busca el valor máximo y el valor mínimo del conjunto de resistencias analizado (47 muestras) para fijar el parámetro de dispersión con respecto a la media. En este caso el valor máximo resultante del universo en análisis es de 379 kg/cm² y el valor mínimo es de 254 kg/cm², por lo que para este caso particular se visualiza que ninguno de los valores obtenidos en el universo de especímenes de concreto ensayados cae por debajo del f'c de proyecto.

Cabe mencionar que los universos de muestreo dependen mucho de los presupuestos que acepte el cliente de la obra de acuerdo con el recurso económico de que se disponga pero sin embargo normativamente se requiere para un análisis aceptable y confiable en los resultados, un mínimo de 30 muestras, en las cuales los resultados obtenidos sean de cilindros que cumplan con la edad de 28 días para poder evaluar el control de calidad que se esté desarrollando en los proyectos, asumiendo que a esta edad el concreto debe llegar al 99 % de su resistencia proyectada (resistencia final). Sin embargo, se sabe que con el tiempo el concreto adquiere mayor resistencia y que dependiendo del concepto "Durabilidad" (relación agua cemento) llegará un momento en que ésta se mantenga por un período y luego empiece a declinar hasta llegar a la falla debido a deformaciones permanentes (deformaciones plásticas).

De acuerdo con lo anterior es necesario que se establezca el f'c requerido (◆◆◆) mediante el análisis estadístico, asumiendo que el diseñador de mezclas debe hacer su análisis en laboratorio con el tipo de cemento, agua y agregados que se usaran en la obra, previamente al muestreo y ensayos reales que se obtengan durante su desarrollo, por lo tanto analizando este concepto con los datos reales del caso particular en cuestión, y basándonos en el criterio normativo (ACI 214R-11) del enunciado III.2. Utilizamos un multiplicador constante (t)= 1.28 ya que al no diseñar la resistencia de los concretos que se están analizando y suponiendo el caso más crítico en las posibilidades de que cierto número de pruebas caigan por debajo del límite inferior admisible en resistencia (tabla n° III),

se visualiza un margen de seguridad en las resistencias.

Entonces el $f'_{cd} = f'_{ct} +$

$(k * \sigma)$

$f_{cd} = 250 + (1.28 * 28.1) = 286 \text{ kg/cm}^2$ lo cual significa que teóricamente el diseñador debe calcular las dosificaciones de mezclas de concreto para obtener

esta resistencia de 286 kg/cm^2 en la

obra.

Bien, considerando que el control de calidad obtenido en obra es “muy bueno”, revisamos el estándar de calidad que se ha manejado en laboratorio para el muestreo y ensaye de cilindro a cilindro mediante el cálculo del coeficiente de variación:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad (2.13)$$

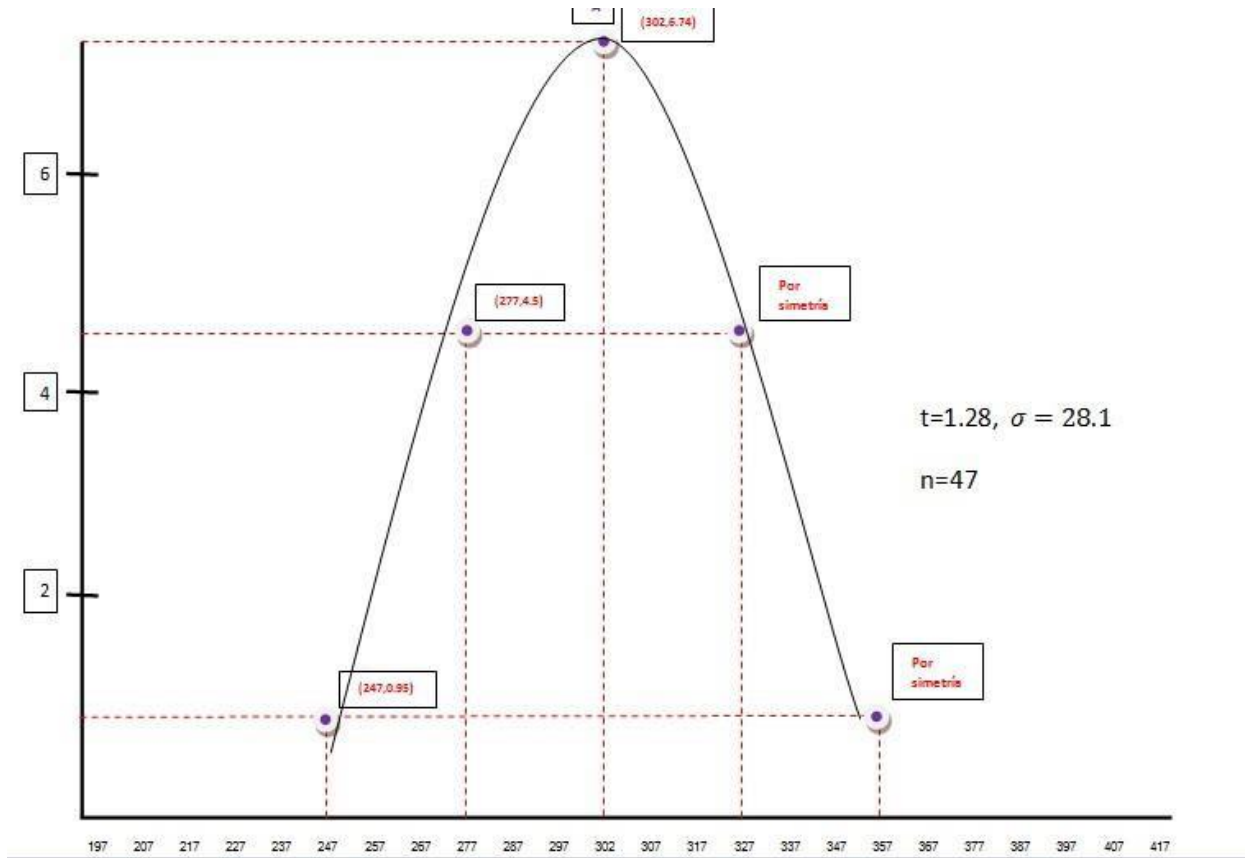
Sustituyendo valores tenemos:

$C_v = \frac{2.6}{28.1} * 100 = 9.30 \%$ y comparando el resultado con la tabla de control n° II

(302)

podemos asumir que la calidad de este universo de 47 muestras de concreto ensayadas por laboratorio fue deficiente ya que el coeficiente de variación es superior al 6 %.

A continuación, grafiquemos la curva de Gauss para observar el comportamiento de las dispersiones de las resistencias con respecto a la media y su probable rechazo a los resultados obtenidos por debajo del f'_{c} de proyecto.



Para cada dato de "x" corresponde un valor de "y" calculado a partir de la siguiente expresión:

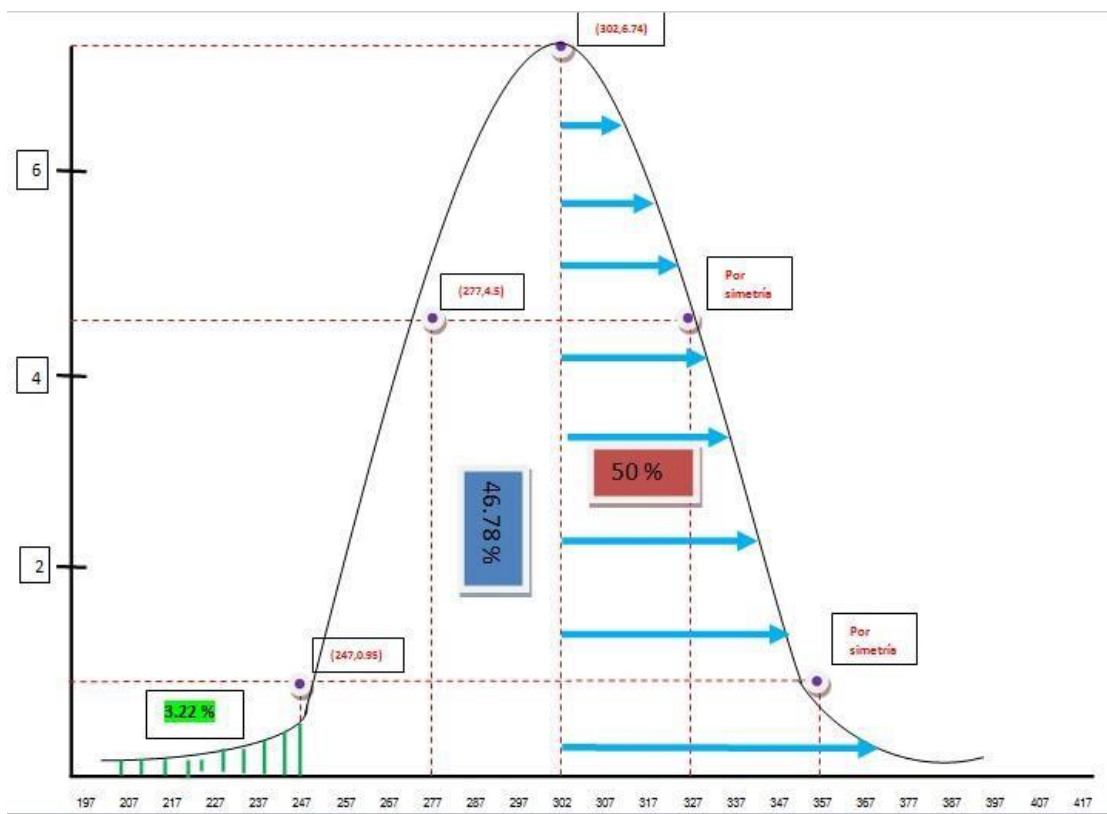
$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.8)$$

Finalmente estandarizamos los valores de "x" (transformación z)

escogiendo el área bajo la curva que va de F_c a F_c y tenemos que:
 $z = \frac{x-\bar{x}}{\sigma} = \frac{250-302}{28.1} = -1.85$ y buscamos en la tabla del anexo "A" de proporciones

entre la media y algún dato “z”:

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
0.0							
.							
.							
.							
.							
.							
1.8						4678	



El área resultante es de 46.78 % por lo que al restar el 50% que es la mitad del gráfico en la curva de Gauss, tenemos que el valor de 3.22 % que sería el área que contiene los valores probables que caerían por debajo del f'c de proyecto.

Finalmente se llena el formato con los resultados obtenidos en el análisis:

ELEMENTO ANALIZADO:																	
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONCRETO																	
Muestra	Resistencia Promedio	Consecutivo de 3 Mtras.	F' c de Proyecto	F' c Requerida	Desviación Estándar	Cliente:.....											
1	332		250	286	28	Obra:.....											
2	312		250	286	28	Localización :.....						Exp. Clave					
3	334	326	250	286	28	Fecha:.....											
4	325	324	250	286	28	Cia. Premezcladora:.....						Hecho en Obra					
5	309	323	250	286	28	Periodo de Ensaye ;		De :		8 de Septiembre 2017							
6	307	314	250	286	28			a :		28 de enero 2018							
7	308	308	250	286	28	Especificaciones						NMX-C-155-ONNCE-2004					
8	314	310	250	286	28	Clase de Concreto						Convencional					
9	327	316	250	286	28	F'c de Proyecto Kg / cm ²						250					
10	338	326	250	286	28	Promedio Kg / cm ²						302					
11	311	325	250	286	28	Desviación Estándar						28		Muy Buena			
12	326	325	250	286	28	Valor Máximo						379					
13	329	322	250	286	28	Valor Mínimo						254					
14	335	330	250	286	28	F'c R						286					
15	280	315	250	286	28	Numero						47					
16	299	305	250	286	28	Valores inferiores a F' c %						0.0		10 % Máximo			
17	305	295	250	286	28	Valores inferiores											
18	334	313	250	286	28	a F' c (-35 kg/cm ²) %						0.0		1 % Máximo			
19	301	313	250	286	28												
20	267	301	250	286	28	Desviación Estándar.....						Excelente		0 - 25			
21	285	284	250	286	28	Desviación Estándar.....						Muy Buena		25 - 35			
22	268	273	250	286	28	Desviación Estándar.....						Buena		35 - 40			
23	257	270	250	286	28	Desviación Estándar.....						Aceptable		40 - 50			
24	254	260	250	286	28	Desviación Estándar.....						Pobre		Mas de 50			
25	294	268	250	286	28												
26	276	275	250	286	28												
27	282	284	250	286	28												
28	283	280	250	286	28												
29	291	285	250	286	28												
30	296	290	250	286	28												
1	261	283	250	286	28												
2	255	271	250	286	28												
3	276	264	250	286	28												
4	264	265	250	286	28												
5	292	277	250	286	28												
6	283	280	250	286	28												
7	300	292	250	286	28												
8	277	287	250	286	28												
9	276	284	250	286	28												
10	298	284	250	286	28												
11	379	318	250	286	28												
12	316	331	250	286	28												
13	319	338	250	286	28												
14	313	316	250	286	28												
15	364	332	250	286	28												
16	294	324	250	286	28												
17	329	329	250	286	28												

3.5- Análisis de resultados en “hojas de cálculo” (Excel):

Para poder justificar el análisis de las resistencias a compresión simple en losas y trabes, tenemos que correlacionar los Módulos de Ruptura (ensayos a flexión) obtenidos en laboratorio con la probable resistencia a la compresión considerando lo indicado en la norma ACI 318.

CORRELACIÓN DE RESULTADOS EN VIGAS DE CONCRETO $f'c = 250 \text{ KG/CM}^2$

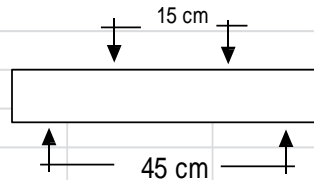


Diagrama de apoyos

Considerando que el comité ACI 318 establece la relación entre M_r y $F'c$ mediante la fórmula:

Modulo de ruptura (M_r)	esfuerzo de compresión ($F'c$)
40.34	260.4
40.17	258.2
41.66	277.7
40.68	264.8
41.68	278.0
40.78	266.1
50.26	404.2
40.60	263.7
43.19	298.4
41.19	271.5
41.03	269.3
40.08	257.0
39.81	253.6
41.47	275.2
42.06	283.1
42.69	291.6
42.93	294.9
42.78	292.8
42.06	283.1
43.87	308.0
39.91	254.8
39.91	254.8

entonces:

$$f'c = 2.5 \sqrt{M_r}$$

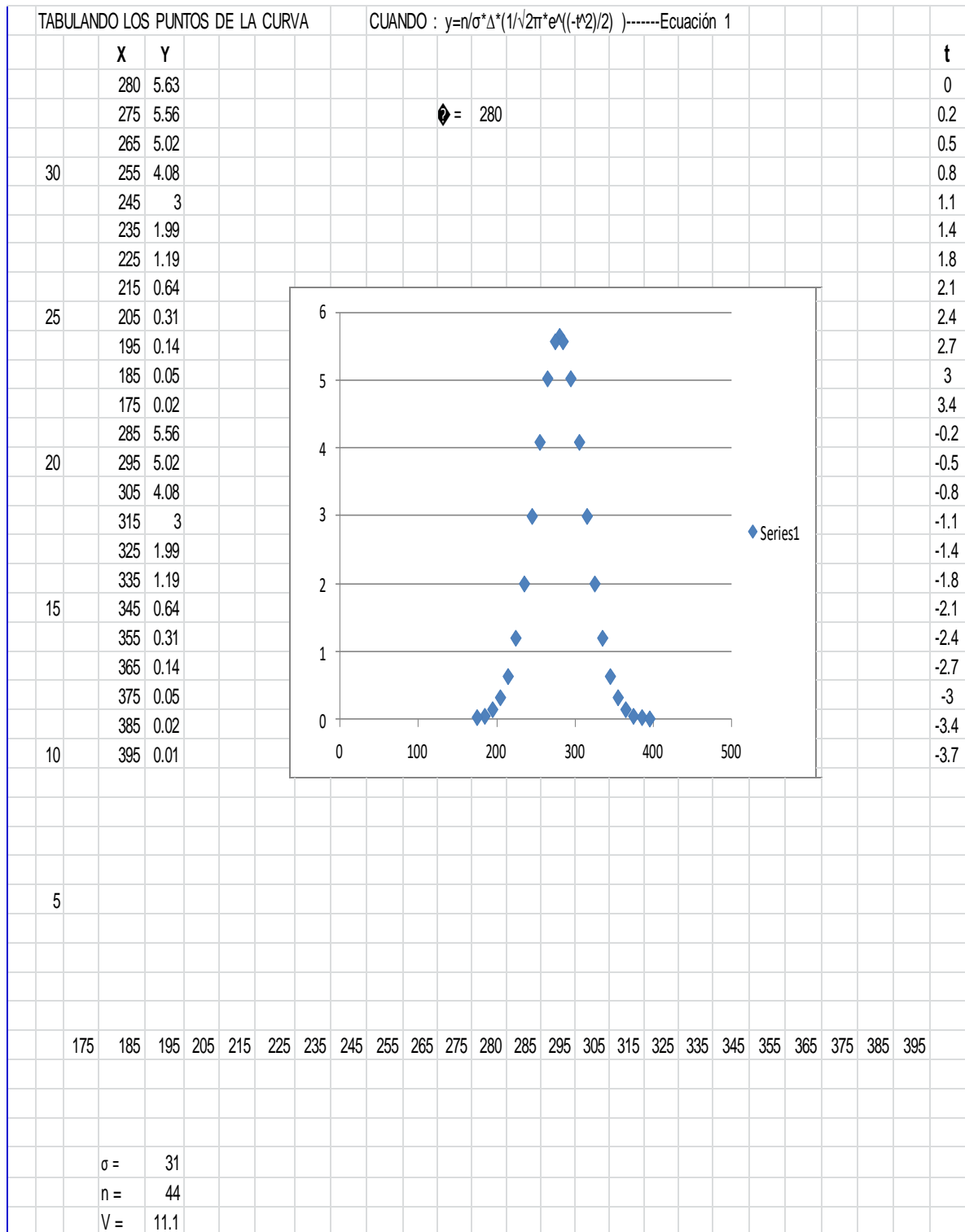
$$f'c = (2.5)^2 M_r$$

$$2.5)^2$$

Análisis Estadístico del concreto en losas y trabes en la remodelación del puente 475.

Elemento analizado: Losa y trabes								
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONCRETO (ACI 214RS-11).								
Muestra	Resistencia Promedio	Consecutivo de 3 Mtras.	F'c de Proyecto	F'c Requerida	Desviación Estándar	Cliente:.....		
1	260.4		250	290	31	Obra:..... Nodo Vial Atlixcáyotl-Puebla		
2	258.2		250	290	31	Localización :..... Circ. J. Pablo II y 25 sur Exp. Clave		
3	277.7	265	250	290	31	Fecha:..... Noviembre 2015 a Marzo de 2016		
4	264.8	267	250	290	31	Cia. Premezcladora:..... Cemex		
5	278.0	274	250	290	31	Periodo de Ensaye ; De : a :		
6	266.1	270	250	290	31	Especificaciones NMX-C-155-ONNCCE-2004		
7	404.2	316	250	290	31	Clase de Concreto Premezclado		
8	263.7	311	250	290	31	F'c de Proyecto Kg / cm ² 250		
9	298.4	322	250	290	31	Promedio Kg / cm ² 280		
10	271.5	278	250	290	31	Desviación Estándar 31 Muy Buena		
11	269.3	280	250	290	31	Valor Máximo 404		
12	257.0	266	250	290	31	Valor Mínimo 254		
13	253.6	260	250	290	31	F'c R 290		
14	275.2	262	250	290	31	Numero 44		
15	283.1	271	250	290	31	Valores inferiores a F'c % 0 0 %		
16	291.6	283	250	290	31	Calidad del concreto Grado A		
17	294.9	290	250	290	31	Coeficiente de Variación 11 Pobre		
18	292.8	293	250	290	31	Desviación Estándar..... Excelente 0 - 25		
19	283.1	290	250	290	31	Desviación Estándar..... Muy Buena 25 - 35		
20	308.0	295	250	290	31	Desviación Estándar..... Buena 35 - 40		
21	254.8	282	250	290	31	Desviación Estándar..... Aceptable 40 - 50		
22	254.8	273	250	290	31	Desviación Estándar..... Pobre Mas de 50		
23	260.4	257	250	290	31	Coeficiente de Variación..... Excelente <3		
24	258.2	258	250	290	31	Coeficiente de Variación..... Muy Buena 3-4		
25	277.7	265	250	290	31	Coeficiente de Variación..... Buena 4-5		
26	264.8	267	250	290	31	Coeficiente de Variación..... Aceptable 5-6		
27	278.0	274	250	290	31	Coeficiente de Variación..... Pobre >6		
28	266.1	270	250	290	31			
29	404.2	316	250	290	31			
30	263.7	311	250	290	31			
31	298.4	322	250	290	31			
32	271.5	278	250	290	31			
33	269.3	280	250	290	31			
34	257.0	266	250	290	31			
35	253.6	260	250	290	31			
36	275.2	262	250	290	31			
37	283.1	271	250	290	31			
38	291.6	283	250	290	31			
39	294.9	290	250	290	31			
40	292.8	293	250	290	31			
41	283.1	290	250	290	31			
42	308.0	295	250	290	31			
43	254.8	282	250	290	31			
44	254.8	273	250	290	31			

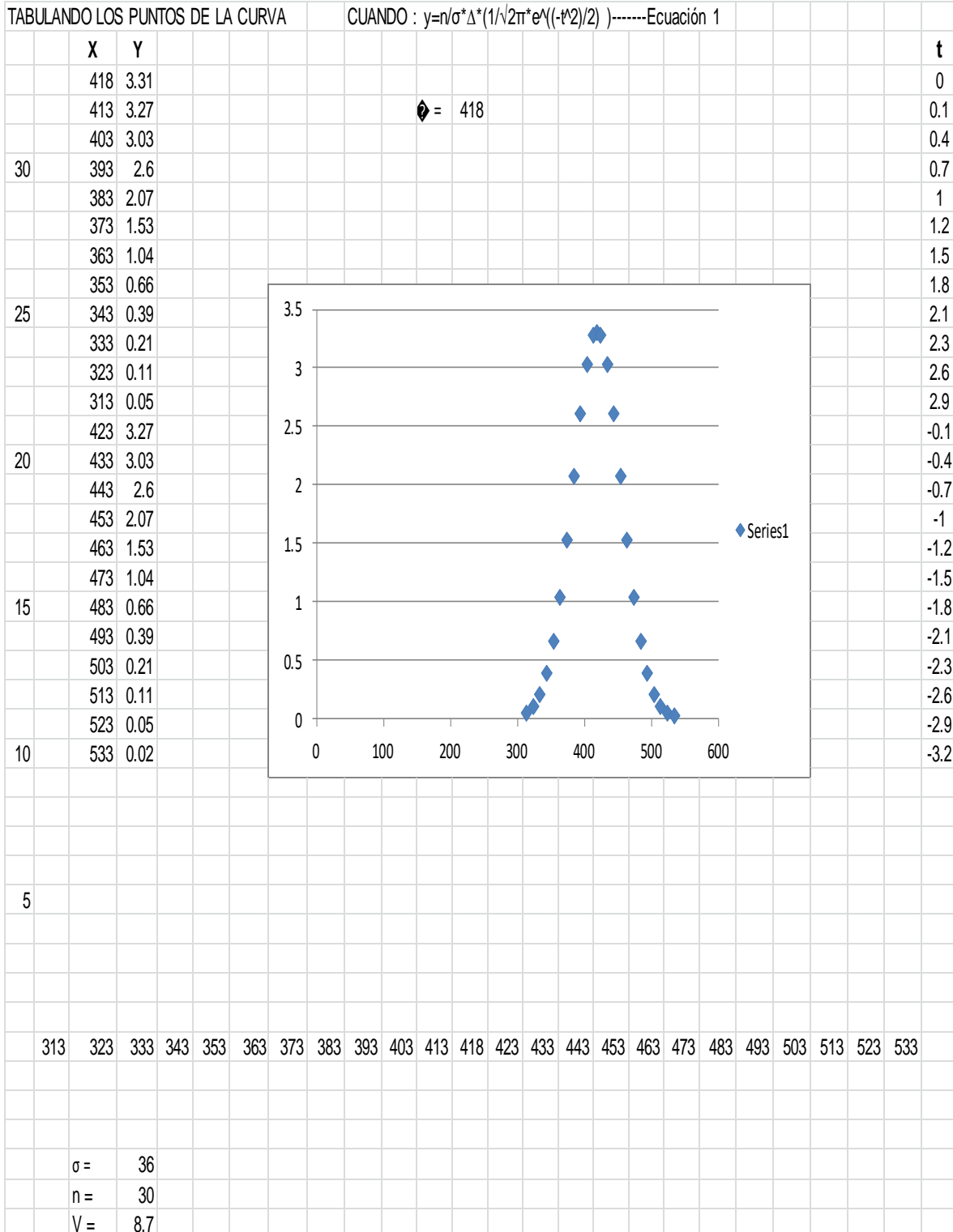
Grafica Gaussiana:



Análisis Estadístico del concreto en columnas de la remodelación del puente 475.

Muestra	Resistencia Promedio	Consecutivo de 3 Mtras.	F' c de Proyecto	F' c Requerida	Desviación Estándar	Cliente:.....
Elemento analizado: Columnas.						
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONCRETO (ACI 214RS-11).						
1	437.10		350	396	36	Obra:..... Nodo Vial Atlixcáyotl-Puebla
2	457.50		350	396	36	
3	449.70	448	350	396	36	Localización :..... Circ. J. Pablo II y 25 sur Exp. Clave
4	463.70	457	350	396	36	
5	425.50	446	350	396	36	Fecha:..... 15 de Mayo 2018
6	372.00	420	350	396	36	Cia. Premezcladora:..... Cemex
7	434.10	411	350	396	36	
8	407.60	405	350	396	36	Periodo de Ensaye ; De : a :
9	381.00	408	350	396	36	
10	353.30	381	350	396	36	Especificaciones NMX-C-155-ONNCCCE-2004
11	437.10	390	350	396	36	
12	457.50	416	350	396	36	Clase de Concreto Premezclado
13	449.70	448	350	396	36	
14	463.70	457	350	396	36	Fc de Proyecto Kg / cm ² 350
15	425.50	446	350	396	36	Promedio Kg / cm ² 418
16	372.00	420	350	396	36	Desviación Estándar 36 Buena
17	434.10	411	350	396	36	Valor Máximo 464
18	407.60	405	350	396	36	Valor Mínimo 353
19	381.00	408	350	396	36	F'c R 396
20	353.30	381	350	396	36	Numero 30
21	437.10	390	350	396	36	Valores inferiores a F' c % 0 0 %
22	457.50	416	350	396	36	Calidad del concreto Grado A
23	449.70	448	350	396	36	Coefficiente de Variación 9 Pobre
24	463.70	457	350	396	36	Desviación Estándar..... Excelente 0 - 25
25	425.50	446	350	396	36	
26	372.00	420	350	396	36	Desviación Estándar..... Muy Buena 25 - 35
27	434.10	411	350	396	36	Desviación Estándar..... Buena 35 - 40
28	407.60	405	350	396	36	Desviación Estándar..... Aceptable 40 - 50
29	381.00	408	350	396	36	Desviación Estándar..... Pobre Mas de 50
30	353.30	381	350	396	36	Coefficiente de Variación..... Excelente <3
						Coefficiente de Variación..... Muy Buena 3-4
						Coefficiente de Variación..... Buena 4-5
						Coefficiente de Variación..... Aceptable 5-6
						Coefficiente de Variación..... Pobre >6

Grafica Gaussiana:



Análisis Estadístico del concreto en pilas y zapatas en la remodelación del puente 475.

Elemento analizado: Pilas y Zapatas.								
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONCRETO (ACI 214RS-11).								
Muestra	Resistencia Promedio	Consecutivo de 3 Mtras.	F' c de Proyecto	F' c Requerida	Desviación Estándar			
1	397.50		350	379	23	Ciente:.....		
2	393.60		350	379	23	Obra:.....	Nodo Vial Atlixcáyotl-Puebla	
3	392.50	395	350	379	23	Localización :.....	Circ. J. Pablo II y 25 sur	Exp.
4	369.10	385	350	379	23			Clave
5	391.30	384	350	379	23	Fecha:.....	15 de Mayo 2018	
6	394.80	385	350	379	23			
7	409.90	399	350	379	23	Cia. Premezcladora:.....	Cemex	
8	402.80	403	350	379	23			
9	384.40	399	350	379	23	Periodo de Ensaye ;	De :	
10	390.70	393	350	379	23		a :	
11	413.10	396	350	379	23			
12	443.60	416	350	379	23			
13	436.00	431	350	379	23			
14	386.10	422	350	379	23			
15	390.20	404	350	379	23			
16	362.30	380	350	379	23			
17	374.80	376	350	379	23			
18	350.00	362	350	379	23			
19	365.40	363	350	379	23			
20	355.30	357	350	379	23			
21	366.90	363	350	379	23			
22	390.20	371	350	379	23			
23	372.20	376	350	379	23			
24	365.40	376	350	379	23			
25	372.20	370	350	379	23			
26	357.80	365	350	379	23			
27	305.70	345	350	379	23			
28	368.00	344	350	379	23			
29	397.50	357	350	379	23			
30	368.00	378	350	379	23			
						Especificaciones		
						NMX-C-155-ONNCC-2004		
						Clase de Concreto		Premezclado
						F'c de Proyecto Kg / cm ²	350	
						Promedio Kg / cm ²	382	
						Desviación Estándar	23	Excelente
						Valor Máximo	444	
						Valor Mínimo	306	
						F'c R	379	
						Numero	30	
						Valores inferiores a F' c %	1	3 %
						Calidad del concreto	Grado A	
						Coefficiente de Variación	6	Aceptable
						Desviación Estándar.....	Excelente	0 - 25
						Desviación Estándar.....	Muy Buena	25 - 35
						Desviación Estándar.....	Buena	35 - 40
						Desviación Estándar.....	Aceptable	40 - 50
						Desviación Estándar.....	Pobre	Mas de 50
						Coefficiente de Variación.....	Excelente	<3
						Coefficiente de Variación.....	Muy Buena	3-4
						Coefficiente de Variación.....	Buena	4-5
						Coefficiente de Variación.....	Aceptable	5-6
						Coefficiente de Variación.....	Pobre	>6

Grafica Gaussiana:

TABULANDO LOS PUNTOS DE LA CURVA		CUANDO : $y = n \cdot \sigma \cdot \Delta \cdot (1/\sqrt{2\pi}) \cdot e^{-(t^2)/2}$ -----Ecuación 1	
	X	Y	t
	382	5.27	0
	377	5.14	0.2
	367	4.24	0.7
30	357	2.88	1.1
	347	1.61	1.5
	337	0.74	2
	327	0.28	2.4
	317	0.09	2.9
25	307	0.02	3.3
	297	0	3.7
	287	0	4.2
	277	0	4.6
	387	5.14	-0.2
20	397	4.24	-0.7
	407	2.88	-1.1
	417	1.61	-1.5
	427	0.74	-2
	437	0.28	-2.4
15	447	0.09	-2.9
	457	0.02	-3.3
	467	0	-3.7
	477	0	-4.2
	487	0	-4.6
10	497	0	-5.1
$\mu = 382$			
5			
	277	287	297
	307	317	327
	337	347	357
	367	377	382
	387	397	407
	417	427	437
	447	457	467
	477	487	497
	$\sigma =$	23	
	$n =$	30	
	$V =$	5.9	

3.6- Resumen de resultados.

Evaluación de la calidad de los concretos según lo dispuesto en la Tabla n° II.- Normas para el control del concreto (ACI 214RS-11).

Elemento analizado	Desviación estándar	Evaluación	Coefficiente de variación	Evaluación
Losa y trabes	31 kg/cm ²	Muy buena	11 %	Pobre
Columnas	36 kg/cm ²	Buena	9 %	Pobre
Pilas y zapatas	23 kg/cm ²	Excelente	6 %	Aceptable

Conclusiones.

1.- De los resultados obtenidos en campo se concluye que las variaciones en las resistencias del concreto suministrado en la obra estuvieron controladas de “Buena a Excelente” de acuerdo con los porcentajes de las Desviaciones estándar obtenidas y referidas con la norma ACI 214RS-11 según el resumen de resultados anteriormente descrito.

Las curvas de distribución normal en todos los casos fueron largas y angostas, observando que, las dispersiones de las resistencias obtenidas se encontraron cerca de la resistencia media, por lo que gráficamente se confirman los resultados obtenidos del cálculo estadístico y se hacen más confiables.

2.- De acuerdo con la norma ACI 214RS-11, la variación en los ensayos (de cilindro a cilindro), según el coeficiente de variación calculado refleja que el grado de calidad no es constante, ya que algunos porcentajes estuvieron por arriba del 6 % considerándose un control de laboratorio “Pobre”, y se puede pensar en la posibilidad de que los equipos de ensaye probablemente no estaban calibrados o también puede suceder que el muestreo no sea el adecuado, sin embargo cabe señalar que hay más factores que influyen en la obtención de los resultados de prueba y que es otro tema interesante para la investigación.

3.- El concreto que se suministró en la obra fue de grado estructural “A” para todos los elementos señalados en el cálculo estadístico y de acuerdo con los resultados obtenidos está claro que de todos los universos analizados en ningún momento se rebasa el 10% de valores del $f'c$ que resultaron por debajo de lo especificado. Entonces podemos asegurar que el concreto utilizado en este proyecto cumple con lo solicitado en el reglamento de construcciones del municipio de Puebla y con lo dispuesto en la norma oficial mexicana NMX C-155.

Recomendaciones.

1.- Para poder lograr un buen control de calidad en las resistencias de los concretos suministrados, es necesario tener mezclas uniformes tanto en obra como en el laboratorio y procurar que el concreto que se maneja en campo tenga condiciones similares a las que se le dan en un laboratorio.

2.- Uno de los puntos clave para mantener la uniformidad en las mezclas de concreto es el vigilar que la relación agua-cemento se apegue al diseño.

3.- También es importante vigilar la calidad de los agregados (granulometría, textura superficial, resistencia, rigidez de la partícula y tamaño máximo del agregado) ya que esto influye en los resultados que obtiene laboratorio previo al diseño de mezclas.

4.- Finalmente es recomendable que los laboratorios observen las Normas Oficiales Mexicanas para la realización de los muestreos y ensayos de especímenes de concreto. Por otro lado, es también de suma importancia que los laboratorios se apeguen a lo dispuesto por la normatividad vigente en cuanto a la calibración periódica de sus equipos de ensaye además de contar con un programa de mantenimiento tanto a las instalaciones como a equipos y/o herramientas de trabajo.

Actualmente existen organismos o empresas encargadas de la certificación para laboratorios y para técnicos laboratoristas, es recomendable que como requisito de contratación de servicios de control de calidad se exija la certificación a las empresas dedicadas a este rubro, así como al personal técnico que labore en ellas.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Requisitos de reglamento para concreto estructural ACI 318S-08 – 2005.
2. - ACI committee 332, “Requirements for residential concrete construction (ACI 332-04) and commentary”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, 26 pp.
- 3.- “Control de calidad del concreto” ACI-E 704-4; IMCYC; México 1974.
- 4.- Gutiérrez Aranceta Carlos; “Introducción a la metodología experimental”, Editorial Limusa, México; 18ª. Edición 1991.
- 5.- “Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto”; ACI 214RS-11; IMCYC; México-2004.
- 6.- “Concreto premezclado”; Especificaciones NMX-C-155
- 7.- González Cuevas Oscar M; “Aspectos fundamentales del concreto reforzado” Editorial Limusa, 2ª Edición, México 1986.
- 8.- Lizárraga G. Ignacio M.; “Estadística”; Mc. Graw-Hill; México; Julio 1991.
- 9.- W. Hines William y Montgomery C. Douglas; “Probabilidad y Estadística para Ingenieros; Editorial Prentice-Hall; México 1981.
10. - Annual Book of ASTM Standards 2001, C 150.
11. - Maultzsch, M., Gierloff, M. y Schimmelwitz, P. Aging of cement through long term storage. 7th International Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980.
12. - Norma Técnica Peruana (INDECOPI) NTP 334.009 (1997).
- 13.- Ossa, M. Influencia de la edad y del tipo de almacenamiento en los cementos chilenos. Revista del IDIEM, Vol. 13, 2 (1974), pp. 83-104.
- 14.- Ramírez, A. Estudio del comportamiento del cemento Portland tipo I Sol con envase protector aislante de plástico. Tesis, UNI Lima 1999.
- 15.-Jimenez, H."TECNOLOGIA DEL CONCRETO". UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA DEL PERU". www.fic.uni.edu.pe. Febrero, 2008.
16. - ASTM,“Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars”, American Society for Testing and Materials, Mayo 2008.

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO

La distribución normal estandar.

Proporciones bajo la curva normal entre la media y algún dato de Z. Aparecen con cuatro cifras decimales, sin el punto para ahorrar espacio.

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0000	0040	0080	0120	0159	0199	0239	0279	0319	0359
0.1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0.2	0739	0832	0871	0910	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0.3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0.4	1554	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0.5	1915	1950	1985	2019	2054	2088	2133	2157	2190	2224
0.6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2518	2549
0.7	2580	2612	2642	2673	2704	2734	2764	2794	2823	2852
0.8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0.9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1.0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3557	3599	3621
1.1	3643	3665	3686	3718	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1.2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1.3	4032	4049	4066	4083	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1.4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1.5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4430	4444
1.6	4452	4463	4474	4485	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1.7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1.8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1.9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4758	4762	4767

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
2.0	4773	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817
2.1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2.2	4861	4865	4868	4871	4875	4878	4881	4884	4887	4890
2.3	4898	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2.4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936
2.5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2.6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2.7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2.8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4980	4980	4981
2.9	4981	4982	4983	4984	4984	4984	4985	4985	4986	4986
3.0	4986.5	4987	4987	4988	4988	4988	4989	4989	4989	4990
3.1	4990.0	4991	4991	4991	4992	4992	4992	4992	4993	4993
3.2	4993.12									
	9									
3.3	49995.16									
	6									
3.4	4996.63									
	1									
3.5	4997.67									
	4									
3.6	4998.40									
	9									
3.7	4998.92									
	2									
3.8	4999.27									
	7									

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
3.9	4999.51									
	9									
4.0	4999.68									
	3									
4.5	4999.96									
	6									
5.0	4999.99									
	7133									

ANEXO B

FORMATOS DE RESULTADOS DE PRUEBAS

A	B	C	D	E	F	G	H	I
3								
4								
5	PRUEBA DE MODULO DE RUPTURA							
6	INFORME DE PRUEBAS DE CONTROL DE CONCRETO HIDRAULICO							
7	Enviado por	PERSONAL DE LABORATORIO			Expediente No.		475	
8	Procedencia	PUENTE 475 LA MORIA			Fecha de Reciba		21-mar-16	
9	Localización:	CIRCUITO JUAN PABLO II Y 25 SUR			Fecha de Informe		24-mar-16	
10		LOSA DE PAVIMENTO RAMA 200 Y BLV. JUAN PABLO II						
11		KM 200-118 L/120.						
12	IDENTIFICACION							
13	Ensayo No.							
14	Muestra No.	1DE2						
15	Tamado de:	COLADO DEL 18 DE MARZO DE 2016						
16	DATOS DEL PROPORCIONAMIENTO							
17	Preparación	Número y relación a/c (en peso)						
18	Resistencia de proyecto	Mr (kg/cm ²)						45
19	Revenimiento (cm)	10(+/-2.5)						
20	Adicionante, marca, finalidad y cantidad usada							
21								
22								
23	Equipo de mezclado	OLLAS DE PRECONCRETOS SIPSA UNIDAD 263						
24	Vibrado	VIBRADO						
25	Cemento, marca, tipo y consumo por metro cúbico.							
26	Agu consumo por metro cúbico							
27	DATOS DEL ESPECIMEN	Resistencia, kg	12.0					
28		Longitud total, cm	50.0					
29		Longitud entre apoyos, cm (l)	45.0					
30		Ancho, cm (b)	15.3					
31		Peralte, cm (d)	15.0					
32		Carga de ruptura	2,200					
33		Fecha de colado	18-mar-16					
34		Fecha de ruptura	24-mar-16					
35		Edad, días	6					
36		Módulo de ruptura, kg/cm ²	28.8					
37	X de la resistencia de Proyecta	63.9						
38	OBSERVACIONES:							
39	Diagrama de apoyo de la prueba							
40								
41								
42								
43								
44	LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ES BAJA PARA LA REQUERIDA DE UN							
45	CONCRETO DE RESISTENCIA RAPIDA.							
46	PARA COMPROBAR LA RESISTENCIA FINAL A 7 DIAS, SE CUENTA							
47	CON UNA PROBETA MAS.							
48								
49	EL LABORATORISTA				LABORATORIO			
50								
51								
52								
53								
54								

INFORME DE PRUEBAS DE CONTROL DE CONCRETO HIDRAULICO

1 Enviado por	PERSONAL DEL LABORATORIO	Expediente No.	IAG-S7
7 Procedencia;	PLANTILLA DE PUESTA	Fecha de Recibo	5VI-1SS7
10 Ubicación	DADO URB. ISAB. Y 11P	Fecha de Informe	2-VII-1SS7
	CO. TRIUNFO DE LA LIZAMA		

IDENTIFICACION

12 Ensayo No.	3,355	3,356	3,358	3,353
13 Muestra No.	2DE 3	3 DE 3	2DE 3	3DE 3
14 Tipo de muestra:	DADO	DADO	CO. TRIUNFO	CO. TRIUNFO

DATOS DE PROPORCIONAMIENTO

16 Proporción y número de	
17 f'c / f'ck	2501
18 Revenimiento	
19 Adición de fibras y	
20 cantidad;	NINGUNO

DATOS DE LA OBRA

21 Equipo de medición	OLLAS DE CONTROL PAL. S.A. DE C.Y.			
22 vibrado o in vitro	YIPUDO			
23 Cemento, marca y tipo				
24 con un 3				
25 Agua con un 3				
26 Admixtura, cm.	11.1	11.1	11.1	11.1
27 II	1S.Z	1S.I	1S.I	1S.I
28 III	1114	1111	1111	111U
29 J.	J.YI-1m	IYI-1U1	I-YI-1U1	J.YHm
30	IYIH1	IYIH1	I-YII-U	IYII-U
31 U	ZI	ZI	ZI	ZI
32 O	44,111	U,III	41,111	41,111
33 Q	R, r, s, z	W1	m1	Z111
	X L, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z			

OBSERVACIONES:

EL CONCRETO QUE LA CALIDAD CORRESPONDE AL PROYECTO.

LABORATORIO STA. ROSALBA DE CAYAMA LABORATORIO

COMPONENTES DE UN PUENTE - VISTA LONGITUDINAL

